



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

***DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT PATAHAN AKTIF DI
WILAYAH JAWA TIMUR***

AUGUSTIKA RATNA SALSABIL
NRP 3714100009

DOSEN PEMBIMBING 1 :
ANIK HILYAH, S.Si, M.T
NIP 19790813 200812 2 002

DOSEN PEMBIMBING 2 :
M. SINGGIH PURWANTO, S.Si, M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – RF141501

DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT PATAHAN AKTIF
DI WILAYAH JAWA TIMUR

AUGUSTIKA RATNA SALSABIL
NRP 3714100009

DOSEN PEMBIMBING 1 :
ANIK HILYAH, S.Si, M.T
NIP 19790813 200812 2 002

DOSEN PEMBIMBING 2 :
M. SINGGIH PURWANTO, S.Si, M.T
NIP. 19800916 200912 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATE THESES – RF141501

*DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT OF ACTIVE
FAULT IN THE REGION OF EAST JAVA, INDONESIA*

AUGUSTIKA RATNA SALSABIL
NRP 3714100032

SUPERVISOR 1st :
ANIK HILYAH, S.Si, M.T
NIP 19790813 200812 2 002

SUPERVISOR 2nd :
M. SINGGIH PURWANTO, S.Si, M.T.
NIP. 19800916 200912 1 002

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering, Environment and Geoscience
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT PATAHAN AKTIF
DI WILAYAH JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 24 Juli 2018

Menyetujui,

-
1. Anik Hilyah, S.Si, M.T. (Pembimbing I)
NIP. 19790813 2000812 2 002
-
2. Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 19800916 200912 1 002
-
3. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. (Penguji I)
NIP. 19591010 198803 1 002
-
4. Wien Lestari, S.T., M.T. (Penguji II)
NIP. 19811002 201212 2 003

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP. 19690906 199702 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul ” *Deterministik Seismic Hazard Assesment Akibat Patahan Aktif Di Wilayah Jawa Timur*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Juni 2018



Augustika Ratna Salsabil
NRP. 03411440000009

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT PATAHAN AKTIF DI WILAYAH JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Augustika Ratna Salsabil
NRP : 03411440000009
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Anik Hilyah, S.Si, M.T
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T

ABSTRAK

Studi mengenai bahaya kegempaan dilakukan untuk meminimalisasi dampak dari bencana gempa bumi di wilayah rawan bencana gempa. Penelitian ini mempresentasikan analisis bahaya kegempaan dalam bentuk nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan intensitas gempa dengan menggunakan pendekatan deterministik untuk wilayah Jawa Timur. Metode ini membuat simulasi sumber gempa patahan sehingga mendapatkan nilai PGA yang dihitung dari 4 fungsi atenuasi terpublikasi yaitu Campbell 2014 NGA, Chiou-Youngs 2014 NGA, Boore-Atkinson 2014 NGA dan Grazier Kalkan 2015 NGA. Selanjutnya digunakan data Vs30 USGS sebagai batasan kedalaman lapisan batuan daerah penelitian. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,014243 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $0,5773 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Sedangkan nilai intensitas gempa berkisar antara 4,3063 skala MMI untuk nilai terendah hingga 8,1232 skala MMI untuk nilai tertinggi. Hasil analisa menunjukkan nilai PGA dan intensitas gempa tinggi berada pada daerah dengan Vs30 rendah, dimana pada daerah tersebut memiliki rentang Vs30 rendah berkisar antara 180 m/s hingga 332,62 m/s. Kondisi geologi didominasi oleh sedimen alluvium meliputi kerakal, kerikil, batupasir, batulempung, lanau dan konglomerat. Wilayah ini merupakan zona rawan gempa bumi dikarenakan kondisi geologi yang memicu terjadinya amplifikasi gelombang gempa. Secara keseluruhan, daerah rawan mengalami kerusakan akibat gempa meliputi Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Jombang, Kabupaten Mojokerto, Kota Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Pasuruan dan Kabupaten Probolinggo.

Kata Kunci : Deterministik, Intensitas, Patahan Aktif, PGA, Vs30.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD ASSESMENT OF ACTIVE FAULT IN THE REGION OF EAST JAVA, INDONESIA

Student Name : Augustika Ratna Salsabil
Studeng ID Name : 03411440000009
Departemen : Geophysical Engineering FTSLK-ITS
Supervisor :Anik Hilyah, S.Si, M.T
M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T

ABSTRACT

The study of earthquake hazard is conducted to minimize the impact of earthquake disaster in earthquake prone areas. This research presents an analysis of earthquake hazard in the form of Peak Ground Acceleration (PGA) value and earthquake intensity using deterministic approach for East Java region. In this method weighing of 4 published attenuation functions and Vs30 USGS data as the depth of the rock layer of the research area. The resulting range of PGA values ranges from 0.014243 m/s^2 to the lowest value of up to 0.5773 m/s^2 for the highest value. While the value of earthquake intensity ranges from 4.3063 MMI scale for the lowest value up to 8.1232 MMI scale for the highest value. The analysis result shows that PGA value and high earthquake intensity are at low Vs30 region. Where in the area has low Vs30 range ranging from 180 m/s up to 332.62 m/s. The geological conditions are dominated by alluvium sediments including crust, gravel, sandstones, claystone, silt and conglomerate. This region is a zone prone to earthquakes due to geological conditions that trigger the occurrence of amplification of earthquake waves. Overall, the areas prone to earthquake damage include Bojonegoro, Nganjuk, Lamongan, Gresik, Jombang, Mojokerto, Surabaya, Sidoarjo, Pasuruan and Probolinggo.

Keyword : Deterministic, Intensity, Active Fault, PGA, Vs30.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Geofisika FTSLK ITS dengan judul:

“Deterministic Seismic Hazard Assesment Patahan Aktif Di Wilayah Jawa Timur”

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis megucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang telah mengajarkan banyak hal baik, selalu sabar dalam membimbing dan menasehati, senantiasa memberi motivasi, serta atas kasih sayangnya yang luar biasa.
2. Ibu Anik Hilyah, S.Si, M.T dan Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, ilmu, dan wawasan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman TG-03 atas dukungan dan bantuannya.
4. Viona Rosalina sebagai pendamping terbaik selama pengerjaan Tugas Akhir
5. Tim penelitian DSHA atas dukungan dan motivasinya

Terimakasih banyak atas doa dan dukungannya. Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis probadi maupun bagi pembaca

Surabaya, 20 Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Patahan di Wilayah Jawa Timur.....	6
2.2.1 Sesar Kendeng	6
2.2.2 Sesar Pasuruan.....	7
2.2.3 Sesar Probolinggo.....	7
2.3 Geologi Regional Jawa Timur	9
2.4 Model Seisimotektonik.....	11
2.5 Besar Kekuatan Gempa	12
2.6 Kecepatan Gelombang Permukaan (Vs30).....	15
2.7 DSHA (<i>Deterministic Seismic Hazard Assesment</i>)	17
2.8 <i>Logic Tree</i>	17
2.9 Fungsi Atenuasi	18
2.9.1 Fungsi Atenuasi Boore-Atkinson 2014 NGA.....	20
2.9.2 Fungsi Atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA	21
2.9.3 Fungsi Atenuasi Campbell-Bozorgnia 2014 NGA	23
2.9.4 Fungsi Atenuasi Grazier Kalkan 2015 NGA	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Alur Kerja.....	27
3.2 Daerah dan Waktu Penelitian	28
3.3 Perangkat.....	28

3.4 Data Penelitian	28
3.4.1 Peta dasar Jawa Timur	28
3.4.2 Data Vs30	29
3.4.3 Data Sumber Gempa.....	29
3.5Pengolahan Data.....	31
3.5.1 <i>Plotting</i> Tititk Pengamatan	31
3.5.2 Ekstraksi Nilai Vs30.....	32
3.5.3 Perhitungan Jarak	34
3.5.4 Pemilihan Fungsi Atenuasi	35
3.5.5 Perhitungan Fungsi Atenuasi	35
3.5.6 <i>Logic Tree</i>	38
3.5.7 Grafik <i>Spectral Acceleration</i>	39
3.5.8 Perhitungan Intensitas Gempa	39
3.5.9 Peta <i>Peak Ground Accelerationn</i> (PGA) dan Intensitas Gempa.....	40
3.5.10 Analisis Bahaya Gempa.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Pesebaran Nilai Vs30 Jawa Timur	41
4.2 <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	43
4.2.1 Pesebaran nilai PGA masing-masing fungsi atenuasi.....	43
4.2.2 Pesebaran nilai PGA hasil <i>Logic Tree</i> sumber gempa	48
4.2.3 Pesebaran nilai PGA hasil <i>Logic Tree</i> potensi magnitudo.....	56
4.3 Respon <i>Spectral Aceleration</i>	57
4.4 Intensitas Gempa.....	59
4.4.1 Intensitas Gempa hasil <i>Logic Tree</i> sumber gempa	59
4.4.2 Intensitas Gempa hasil <i>Logic Tree</i> potensi magnitudo	66
BAB V SARAN DAN KESIMPULAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar (Harnindra dkk., 2017).....	5
Gambar 2. 2 a) Peta episenter dan mekanisme fokus gempa Madiun. b) Penampang vertikal B-B' dari gempa-gempa di Madiun (Nugraha dkk., 2017 <i>in prep.</i>).....	8
Gambar 2. 3 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017(PUSGEN, 2017)	9
Gambar 2. 4 Peta Geologi Lembar Jawa bagian Timur (S. Gafoer dan N. Ratman, 1999).....	10
Gambar 2. 5 Peta fisiografi Jawa bagian Timur (Van bemmelen, 1949).....	11
Gambar 2. 6 Contoh <i>logic-tree</i> yang digunakan dalam analisis <i>seismic hazard</i> (Pambayun Purbandini, 2017).....	18
Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	27
Gambar 3. 2 Gambar peta VS30 dengan format .tif (USGS, 2018).....	29
Gambar 3. 3 Peta sumber gempa patahan aktif bagian darat di Jawa Timur	31
Gambar 3. 4 Gambar hasil <i>grid</i> titik pengamatan seluruh wilayah Jawa Timur dalam bentuk proyeksi UTM	32
Gambar 3. 5 Gambar hasil <i>plotting</i> titik pengamatan seluruh wilayah Jawa Timur dalam bentuk <i>shapefile</i>	32
Gambar 3. 6 Peta hasil <i>plotting</i> titik pengamatan dengan VS30 yang telah memiliki koodinat sama	33
Gambar 3. 7 Tabel atribut pada <i>shapefile</i> titik pengamatan.....	34
Gambar 3. 8 Perhitungan fungsi atenuasi Kalkan 2015 NGA pada matlab	36
Gambar 3. 9 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab ..	37
Gambar 3. 10 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab	37
Gambar 3. 11 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab	38
Gambar 3. 12 <i>Logic Tree</i> penelitian	39
Gambar 4. 1 Pesebaran nilai Vs30 Wilayah Jawa Timur.....	41
Gambar 4. 2 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5 M) pada fungsi atenuasi Boore Atkinson 2014 NGA.....	44
Gambar 4. 3 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5 M) pada fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA	45
Gambar 4. 4 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5 M) pada fungsi atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA	46
Gambar 4. 5 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5 M) pada fungsi atenuasi Grazier Kalkan 2015 NGA	48

Gambar 4. 6 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Wonorejo (R = 10 km; M = 5.7M)	49
Gambar 4. 7 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Probolinggo (R = 15 km; M = 6.5M)	50
Gambar 4. 8 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Pasuruan (R = 18 km; M = 6.5M)	51
Gambar 4. 9 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5M)	52
Gambar 4. 10 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Waru (R = 64m; M = 6.5M)	53
Gambar 4. 11 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Blumbang (R = 31 km; M = 6.6M)	54
Gambar 4. 12 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Cepu (R = 100 km; M = 6.6M)	55
Gambar 4. 13 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> potensi magnitudo sumber gempa.	56
Gambar 4. 14 Perbandingan respon <i>spectral acceleration</i> pada wilayah Vs30 tinggi	57
Gambar 4. 15 Perbandingan respon <i>spectral acceleration</i> pada wilayah Vs30 Rendah	58
Gambar 4.16 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Wonorejo (R = 10 km; M = 5.7M)	60
Gambar 4. 17 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Probolinggo (R = 15 km; M = 6.5M)	61
Gambar 4. 18 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Pasuruan (R = 18 km; M = 6.5M)	62
Gambar 4. 19 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Surabaya (R = 25 km; M = 6.5M)	63
Gambar 4. 20 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Waru (R = 64m; M = 6.5M)	64

Gambar 4. 21 Peta pesebaran nilaiIntensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Blumbang (R = 31 km; M = 6.6M)	65
Gambar 4. 22 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> dengan sumber gempa patahan Cepu (R = 100 km; M = 6.6M).....	66
Gambar 4. 23 Peta pesebaran nilaiIntensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan <i>logic tree</i> potensi magnitudo sumber gempa.	67

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Skala menurut <i>Modified Mercalli Intensity</i> (MMI)	13
Tabel 2. 2 Klasifikasi relief berdasarkan kemiringan lereng dan ketinggian menurut Van Zuidam	15
Tabel 2. 3 Klasifikasi tanah berdasarkan NEHRP (Athanasius dan Solikhin, 2015).....	16
Tabel 2. 4 Deskripsi perbedaan fungsi atenuasi berdasarkan penurunan data yang digunakan (Pusgen, 2017)	19
Tabel 3. 1 Parameter sumber gempa patahan aktif wilayah Jawa Timur.....	29
Tabel 3. 2 Koordinat sumber gempa patahan aktif Wilayah Jawa Timur	30
Tabel 3. 3 Daftar fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian	35

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jawa Timur adalah salah satu provinsi di Pulau Jawa yang akan merasakan dampak ketika terjadi gempabumi. Gempa besar yang mengakibatkan tsunami pernah terjadi di wilayah Jawa, di antaranya gempa Mw 7,8 di Jawa Timur pada tahun 1994 (Abercrombie dkk., 2001) dan Mw 7,8 di Pangandaran pada tahun 2006 (Ammon dkk., 2006). Selain dari zona subduksi, gempa dangkal yang bersumber di daratan juga sering terjadi di Jawa dalam beberapa puluh tahun terakhir. Disebabkan padatnya permukiman di Jawa, gempa-gempa ini menimbulkan dampak yang cukup merusak. Salah satu kejadian pada kegempaan di Jawa adalah terjadinya *swarm earthquake* magnitudo 2,5-3,7 sebanyak 33 *event* pada bulan Februari 2016 di wilayah Madiun, Jawa Timur dan sekitarnya dengan kedalaman dangkal (Nugraha dkk., 2016; Nugraha dkk., 2017 *in prep.*). Beberapa mekanisme fokus dari beberapa gempamenunjukkan sesar naik dan sesar geser. Sepanjang tahun 2016, BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) Kelas III Karangates juga telah merilis sebanyak 399 kejadian gempabumi di Jawa Timur dengan rincian 365 gempabumi dangkal, 32 gempabumi menengah, dan 2 gempabumi dalam.

Penelitian terbaru yang dilakukan oleh (Koulali dkk., 2016) mengungkapkan adanya keberadaan sumber gempa baru di wilayah Jawa Timur. Sumber gempa tersebut berasal dari Sesar Kendeng, yaitu patahan yang melintang sejauh 300 kilometer dari selatan Semarang, Jawa Tengah, hingga Jawa Timur. Sesar Kendeng merupakan zona sesar yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur. Di bagian barat sesar kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Bukti pergerakan sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini (Marliyani G.I. dan Whipple K.X, 2016) Penelitian tentang pemetaan sumber gempa di Jawa terutama sesar aktif yang berada di darat saat ini mulai menjadi perhatian. Selain berdasarkan kompilasi hasil-hasil penelitian yang sudah ada, sumber-sumber gempa baru juga ditemukan dalam penyusunan peta gempa nasional. Berdasarkan data pada peta sumber gempa Indonesia tahun 2017 oleh PUSGEN diketahui 7 zona patahan aktif. Zona tersebut antara lain Cepu, Waru, Surabaya, Blumbang, Wonorejo, Probolinggo dan Pasuruan. Dengan potensi kekuatan gempanya dapat mencapai M6,6.

Struktur geologi Jawa Timur didominasi oleh Alluvium dan bentukan hasil gunung api kwarter muda. Batuan hasil gunung api kwarter muda tersebar di bagian tengah wilayah Jawa Timur membujur ke arah Timur yang merupakan daerah relati subur. Batuan miosen tersebar di sebelah selatan dan utara Jawa

Timur membujur ke arah Timur yang merupakan daerah kurang subur (BLH Provinsi Jawa Timur, 2018). Selain tanah aluvial, menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur tahun 2015 jumlah penduduk Provinsi Jawa Timur sebanyak 38.847.561 jiwa dengan kepadatan sebesar 884 jiwa/km² dan laju pertumbuhan penduduknya yang relatif tinggi yaitu 0,61%.

Melalui data kepadatan penduduk, kondisi geologi serta tingkat seismisitas yang tinggi, maka mitigasi bencana gempabumi sangat diperlukan untuk mengurangi bahaya yang diakibatkan oleh kejadian gempabumi. Ada beberapa upaya untuk mitigasi bencana gempabumi, salah satunya adalah membuat perencanaan tata wilayah yang telah sesuai dengan kajian bahaya gempabumi seperti menggunakan analisis *seismic hazard*. (Kumala, 2016). Perkembangan analisis seismic hazard, ada beberapa metode yang biasanya dipakai, yaitu metode DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis), metode PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) dan yang terbaru adalah SHA (Seismic Hazard Assessment) (Werner). Berdasarkan latar belakang, akan lebih spesifik menggunakan metode DSHA. Dalam metode DSHA skenario kejadian gempabumi telah ditentukan. Beberapa penelitian terdahulu umumnya masih menggunakan sumber gempa global. Namun pada penelitian ini analisis bahaya gempa di wilayah Jawa Timur akibat patahan dan akan melengkapi penelitian yang ada sebelumnya. Hasil penelitian diharapkan dapat dimanfaatkan dalam upaya mitigasi bencana gempa dan sebagai bahan acuan tata wilayah area tersebut

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang dihadapi pada pelaksanaan Tugas Akhir ini antara lain yaitu :

1. Bagaimana persebaran nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) lapisan dangkal dari Patahan aktif terhadap Wilayah Jawa Timur
2. Bagaimana persebaran nilai intensitas gempa yang diakibatkan Patahan aktif terhadap Wilayah Jawa Timur

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) lapisan dangkal dari Patahan aktif terhadap Wilayah Jawa Timur menggunakan metode DSHA
2. Mengetahui besar nilai intensitas gempa yang diakibatkan Patahan aktif terhadap Wilayah Jawa Timur menggunakan metode DSHA

1.4 Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pengolahan data hanya dilakukan di Wilayah Jawa Timur menggunakan metode DSHA untuk

mengetahui nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan intensitas gempa pada kedalaman dangkal (30 meter). Selanjutnya sumber yang digunakan hanya dari patahan aktif di Wilayah Jawa Timur.

1.5 Manfaat

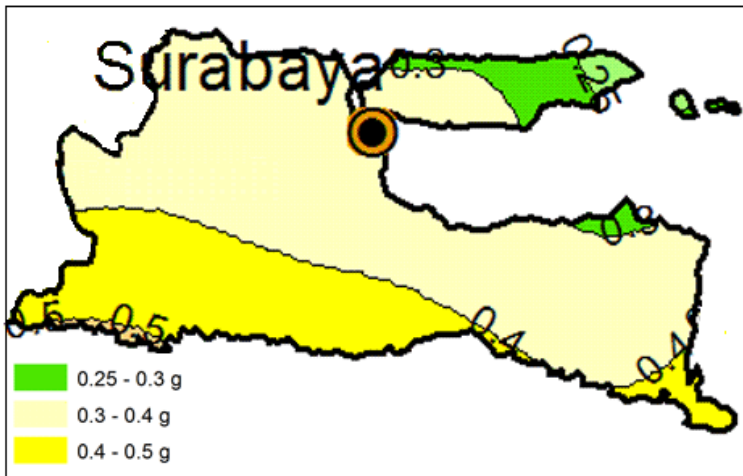
Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah Memetakan persebaran *Peak Ground Acceleration* dari patahan aktif terhadap wilayah Jawa Timur. Menambah data pendukung untuk rencana tata ruang dan mitigasi bencana gempabumi wilayah Jawa Timur dari sumber gempa terbaru.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Adapun hasil penelitian sebelumnya dari berbagai sumber, guna memvalidasi dan melihat perubahan hasil dari tahun ke tahun. Penelitian ini sendiri menggunakan berbagai metode dan sumber gempa serta dalam jangkauan wilayah yang berbeda. Berikut adalah hasil pemetaan percepatan tanah maksimum di wilayah Kota Surabaya menggunakan metode DSHA. Dengan penulis Vidya Amalia Harnindradari Departemen Fisika, FMIPA ITS serta Bambang Sunardi, dan Bagus Jaya Santosa dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Jakarta Pusat. Dari hasil pengolahan data dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian di atas, diperoleh nilai percepatan tanah di batuan dasar untuk wilayah Surabaya dengan memperhitungkan keberadaan sesar Kendeng memiliki nilai berkisar antara 0,26 g – 0,71 g. Hasil ini telah dibandingkan dengan peta SNI 1726:2012 pada gambar 2.1 dibawah. Perbedaan dari penelitian dengan peta SNI adalah patahan kendeng belum diikutsertakan dalam penilaian bahaya pada peta SNI.(Harnindra dkk., 2017)



Gambar 2. 1 Peta percepatan tanah maksimum (PGA) di batuan dasar
(Harnindra dkk., 2017)

Terdapat penelitian kedua yaitu analisis nilai PGA (*peak ground acceleration*) untuk seluruh wilayah kabupaten dan kota di Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* (PSHA). Hasil penelitian diperoleh nilai PGA untuk periode ulang 500 tahun (10% PE 50 tahun) adalah 0,2 g - 0,4 g dan untuk periode ulang 2500 tahun

(2% PE 50 tahun) nilai PGA yang dihasilkan adalah 0,4 g – 0,65 g; Wilayah Jawa Timur dibagi menjadi dua zona yaitu, zona 1 (wilayah Utara) dengan PGA 0,2 g – 0,3 g yang dikategorikan Skala VI – VII MMI dan zona 2 (wilayah Selatan). (PUSGEN, 2017). Selain itu terdapat penelitian dari (Anindya putri dkk, 2017) bahwa nilai PGA terhadap batuan dasar berdasarkan sesar Surabaya-Kendeng terbesar adalah 4,3 g, sedangkan berdasarkan sesar Surabaya-Waru nilai PGA terhadap batuan dasar terbesar adalah sebesar 0,9g.

2.2 Patahan di Wilayah Jawa Timur

Untuk wilayah Jawa Timur, wilayah ini dipengaruhi oleh zona subduksi atau pertemuan dua lempeng tektonik yang berada di sekitar selatan Jawa Timur. Zona subduksi yang terletak pada wilayah selatan dari Indonesia ini yang diketahui sebagai sumber gempa yang membentuk sistem Busur Sunda yang meregang dari barat Pulau Andaman menuju ke bagian timur Pulau Banda. Namun aktivitas seismik di wilayah Jawa Timur tidak hanya dipengaruhi oleh zona subduksi yang berada di selatan Pulau Jawa, tapi juga dipengaruhi oleh aktivitas patahan, baik patahan lokal maupun patahan regional. Untuk patahan di wilayah Jawa Timur, masih banyak yang belum diidentifikasi dan penelitian masih dilakukan oleh *Geological Agency*. Berdasarkan peta patahan dari *Geological Agency* ada beberapa patahan yang telah diteliti di wilayah Jawa Timur, seperti patahan Tulungagung, Lumajang, dan patahan Banyu Putih. Ketiga patahan tersebut termasuk dalam kelas B, dengan magnitudo maksimum $\geq 6,5 - 7$ Mw dengan *slip rate* < 2 hingga < 5 mm/tahun (Susilo A., 2013).

Secara umum struktur geologi aktif di Jawa didominasi oleh sesar geser dan sesar naik dengan sesar turun sebagai struktur minor. Beberapa sesar utama di Jawa yang sudah banyak diketahui antara lain Sesar Cimandiri, Sesar Lembang, dan Sesar Baribis-Citanduy. Di Jawa bagian tengah dan timur, struktur yang terlihat dominan adalah struktur sesar naik (zona Sesar Kendeng dan Semarang), sedangkan di bagian timur Jawa diwakili oleh sistem patahan turun (Sesar Pasuruan, Probolinggo, dan Baluran).

2.2.1 Sesar Kendeng

Sesar Kendeng merupakan zona sesar yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur. Sesar ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini (O. Simandjuntak dan J. Barber, 1996; Smyth dkk., 2008). Di bagian barat sesar kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Bukti pergerakan sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar

di daerah ini. Hasil penelitian terakhir dan juga hasil diskusi kelompok tim revisi zonasi gempa menunjukkan bahwa Sesar Baribis merupakan bagian dari satu kesatuan jalur sesar naik belakang busur, termasuk di dalamnya Sesar Semarang dan sesar-sesar naik di zona Kendeng, Jawa Timur (Natawidjaja dan Daryono, 2016).

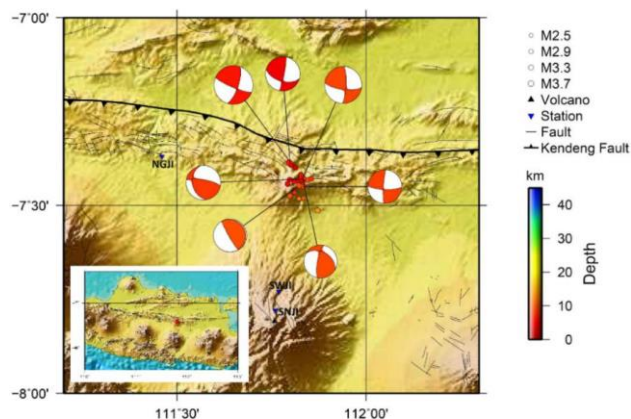
2.2.2 Sesar Pasuruan

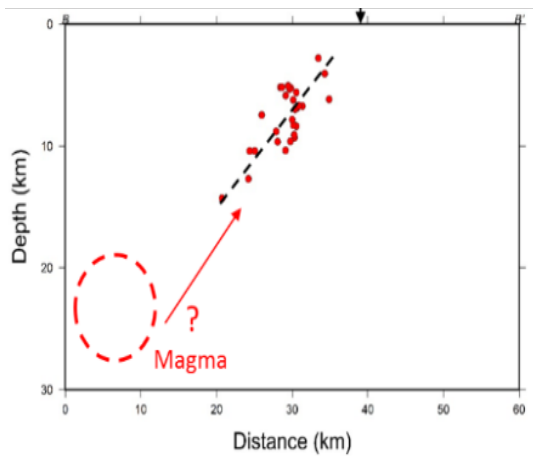
Sesar Pasuruan terlihat dengan jelas di topografi dengan adanya gawir sesar yang memanjang berarah barat timur sepanjang 13 km. Gawir sesar ini memotong batuan endapan vulkaniklastik Formasi Rabano (Suharsono dan Sawarti, 1992) berumur Pleistosen mengindikasikan bahwa sesar ini berumur lebih muda dari Pleistosen. Indikasi pergerakan sesar turun ditemukan dan telah dipetakan di sepanjang sesar ini (Marliyani dkk., 2016). Studi paleoseismologi di sesar ini sudah dilakukan menghasilkan indikasi pergerakan aktif ditemukan sebanyak minimal 6 kali dalam waktu 4000 tahun terakhir.

2.2.3 Sesar Probolinggo

Sesar Probolinggo tergambar di permukaan oleh ketampakan gawir sesar yang memanjang berarah timur laut-barat daya. Gawir sesar ini memotong endapan lepas gunung api dari Gunung Argopuro yang berumur Pleistosen. Morfologi dari gawir sesar ini mengindikasikan pergerakan mendatar.

Salah satu kejadian pada kegempaan di Jawa adalah terjadinya *swarm earthquake* magnitudo 2,5-3,7 sebanyak 33 *event* pada bulan Februari 2016 di wilayah Madiun, Jawa Timur dan sekitarnya dengan kedalaman dangkal. Beberapa mekanisme fokus dari beberapa gempa menunjukkan sesar naik dan sesar geser. (Nugraha dkk., 2016; Nugraha dkk., 2017 *in prep.*).

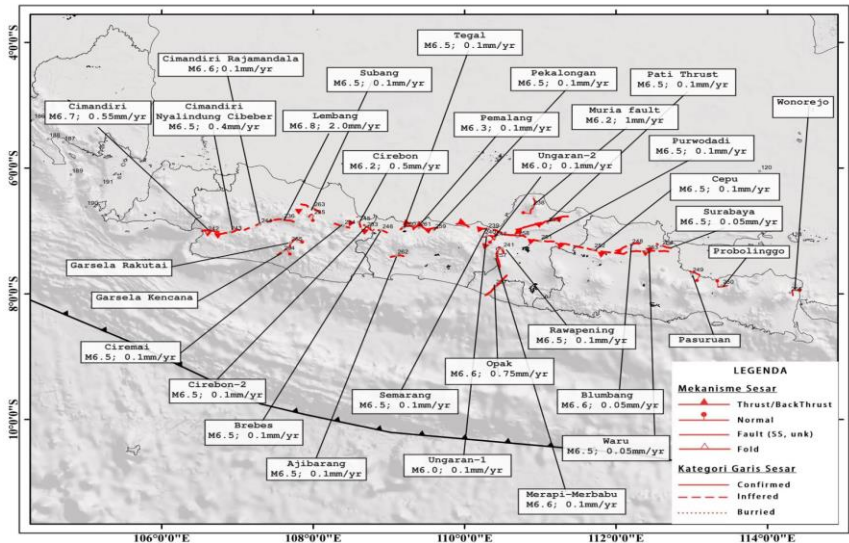




Gambar 2. 2 a) Peta episenter dan mekanisme fokus gempa Madiun. b) Penampang vertikal B-B' dari gempa-gempa di Madiun (Nugraha dkk., 2017 *in prep.*)

Gambar di atas merupakan peta episenter dan mekanisme fokus gempa hasil relokasi di Madiun selama bulan Februari 2016 dengan kedalaman dangkal ≤ 30 km. Lingkaran merah sampai kuning adalah hiposenter gempa berdasarkan kedalaman. Segitiga terbalik warna biru adalah stasiun seismik BMKG yang digunakan. Sedangkan simbol bola mewakili jenis mekanisme gempa yang terjadi.

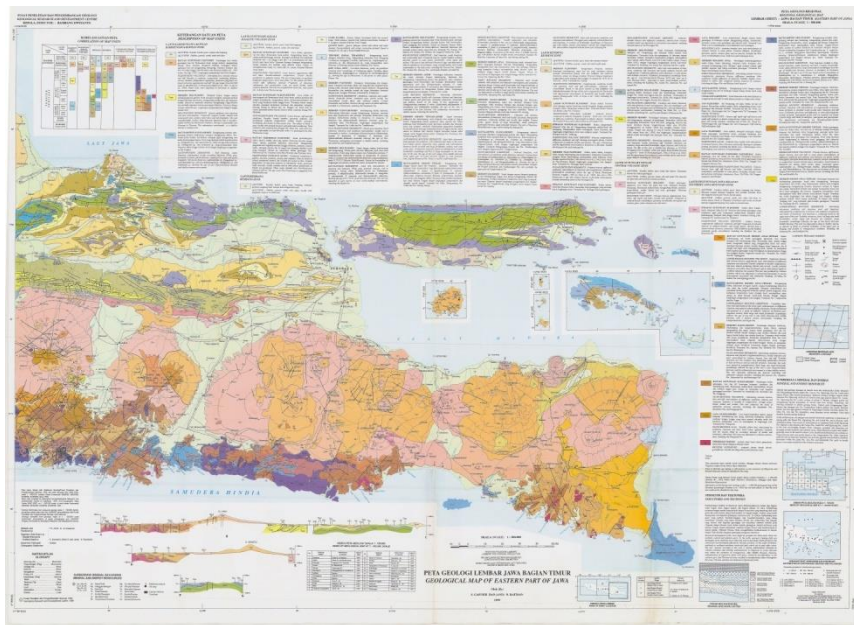
Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) telah mempublikasikan sumber gempa patahan terbaru. Patahan tersebut berlokasi pada daratan, berikut adalah peta Jawa beserta patahan aktif yang dipublikasikan oleh Pusgen pada tahun 2017.



Gambar 2. 3 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017(PUSGEN, 2017)

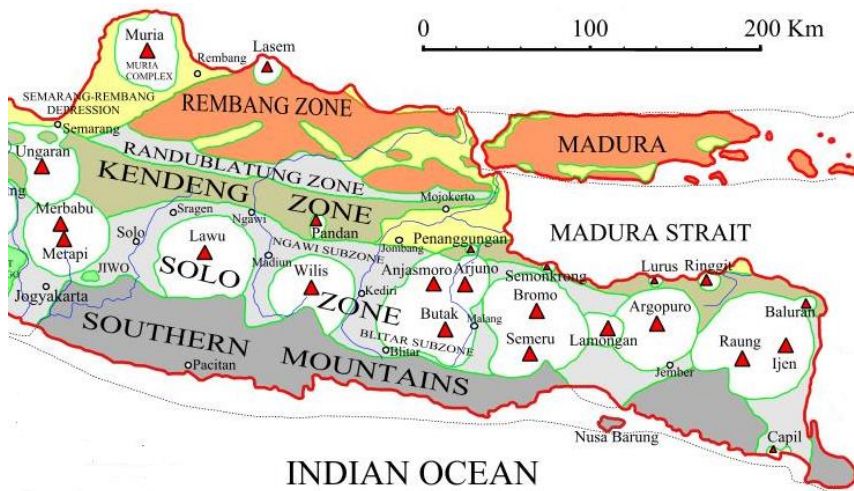
2.3 Geologi Regional Jawa Timur

Struktur Geologi Jawa Timur didominasi oleh Alluvium dan bentukan hasil gunung api kwarter muda, keduanya meliputi 44,5% dari luas wilayah darat, sedangkan batuan yang relatif juga agak luas persebarannya adalah miosen sekitar 12,33% dan hasil gunung api kwarter tua sekitar 9,87% dari luas total wilayah daratan. Sementara itu batuan lain hanya mempunyai proporsi antara 0-7% saja. Batuan sedimen aluvium tersebar sepanjang sungai Brantas dan Bengawan solo yang merupakan daerah subur. Batuan hasil gunung api kwarter muda tersebar dibagian tengah wilayah Jawa Timur membujur ke arah Timur yang merupakan daerah relati subur. Batuan miosen tersebar di sebelah selatan dan utara Jawa Timur membujur ke arah Timur yang merupakan daerah kurang subur. Bagi kepulauan Madura batuan ini sangat dominan dan utamanya merupakan batuan gamping (BLH Provinsi Jawa Timur, 2018). Berikut adalah gambaran geologi pada peta lembar Geologi jawa bagian timur.



Gambar 2. 4 Peta Geologi Lembar Jawa bagian Timur (S. Gafoer dan N. Ratman, 1999)

Ditinjau dari peta geologi di atas, secara fisiografis Jawa Timur di bagi menjadi tujuh satuan. Satuan tersebut dari selatan menuju utara adalah pegunungan selatan, busur vulkanik kuartar, zona pusat depresi Jawa, zona Kendeng, zona depresi Randublatung, zona Rembang-Madura dan dataran aluvial utara Jawa. Berikut adalah gambaran fisiografi Jawa bagian Timur oleh Van Bemmelen (1949). Peta tersebut masih relevan dengan pemetaan S. Gafoer dkk pada peta geologi lembar Jawa bagian timur tahun 1999 dimana lembar tersebut merupakan peta terbaru hingga tahun 2018.



Gambar 2. 5 Peta fisiografi Jawa bagian Timur (Van bemmelen, 1949)

2.4 Model Seisimotektonik

Zona sumber gempa didefinisikan sebagai area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana di setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama akan terjadinya gempa dimasa mendatang. Model sumber gempa akan memberikan gambaran distribusi episenter kejadian gempa historik, frekuensi kejadian gempa dan pergeseran relatif lempeng (*slip-rate*) dari suatu sumber gempa (Irsyam, dkk., 2010).

Ada tiga model sumber gempa yang digunakan dalam analisis ini, yaitu sumber gempa *fault*, sumber gempa subduksi dan sumber gempa *background*. Beberapa model tersebut dapat dijabarkan berdasarkan sumber dari gempa yang terjadi, adalah sebagai berikut:

a. Model sumber gempa *fault*

Model sumber gempa *fault* ini juga disebut sebagai sumber gempa tiga dimensi karena dalam perhitungan probabilitas jarak, yang dilibatkan adalah jarak dari site ke *hypocenter*. Jarak ini memerlukan data *dip* dari *fault* yang akan dipakai sebagai perhitungan probabilitas tersebut. Parameter-parameter yang diperlukan untuk analisis probabilitas dengan model sumber gempa sesar adalah *fault trace*, mekanisme pergerakan, *slip-rate*, *dip*, panjang dan lebar *fault*.

b. Model sumber gempa subduksi

Sumber gempa subduksi adalah model yang didapat dari data seisimotektonik yang sudah teridentifikasi dengan baik. Parameter dari model ini meliputi lokasi subduksi yang dituangkan dalam koordinat *latitude* dan

longitude, kemiringan bidang subduksi (*dip*), *rate* dan *b-value* dari area subduksi yang bisa didapatkan dari data gempa historis, serta batas kedalaman area subduksi.

c. Model sumber gempa *background*

Model ini digunakan untuk mengestimasi *rate* dari kejadian gempa sedang yang akan datang di daerah *fault* dan gempa-gempa acak di luar *fault*. Model ini memprediksikan bahwa kejadian gempa yang lebih besar kemungkinan dapat terjadi di daerah sekitar gempa-gempa kecil sampai sedang yang telah terjadi sebelumnya. Oleh karena itu, pada daerah yang data *fault*-nya belum teridentifikasi dengan jelas, tetapi di daerah tersebut mempunyai sejarah kejadian gempa, maka model ini sangat sesuai. Kejadian Gempa Jogja tahun 2006 dengan magnitudo $M=6,4$ adalah salah satu contoh, karena di daerah tersebut *fault*-nya belum jelas dan historis gempa yang terjadi gempa-gempa kecil (Irsyam, dkk., 2010).

2.5 Besar Kekuatan Gempa

Besar kekuatan gempabumi biasanya diukur dengan menggunakan 3 skala, yaitu:

a. Berdasarkan energi yang dilepaskan di pusat gempa

Biasanya disebut dengan Magnitudo atau Skala Richter. Magnitudo menunjukkan besaran atau jumlah energi yang dilepaskan pada suatu pusat gempa (*Hypocenter*) yang dapat diukur dengan *seismograf*. Magnitudo pertama kali didefinisikan oleh *Charles Richter* tahun 1935, sehingga kini dikenal sebagai *Skala Richter*. Gempa dengan skala 3 magnitudo atau lebih biasanya hampir tidak terlihat, dan gempa dengan skala magnitudo 7 biasanya lebih berpotensi menyebabkan kerusakan serius di daerah yang luas, tergantung pada kedalaman gempa. Gempa bumi terbesar bersejarah besarnya telah lebih dari 9, meskipun tidak ada batasan besarnya (Natawidjaja dan Triyoso, 2007).

b. Berdasarkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa

Biasanya disebut dengan *Intensity* (intensitas), digunakan dalam menentukan kuatnya getaran tanah akibat suatu gempa dengan melihat respon orang atau bangunan yang terasa atau terjadi pada saat gempa berlangsung pada lokasi tertentu. Intensitas gempa dikenalkan oleh *boen* tahun 2002 kemudian dinyatakan secara sederhana, merupakan derajat kerusakan akibat gempa bumi atau intensitas maksimum yang dihasilkan oleh gempa tersebut. Umumnya menggunakan skala intensitas menurut tingkat kerusakan atau yang dirasakan manusia. Salah satu skala intensitas yang dikenal adalah *MMI (Modified Mercalli Intensity)* digunakan sejak tahun 1956.

c. Berdasarkan Percepatan batuan dasar maksimum

Data PGA merupakan data gempa yang diperlukan untuk kepentingan *design* bangunan. Untuk mengetahui besarnya PGA, bisa dihitung dari besaryamagnitudo dan kedalaman gempa, kemudian dengan rumus atenuasi

yang kinisudah berkembang hingga beberapa generasi (Natawidjaja dan Triyoso, 2007). Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah maksimum dan pergeseran maksimum. PGAdinyatakan dalam satuan percepatan gravitasi (*Gravitational Acceleration* = gal) atau cm/s². Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi. Dua metode untuk menentukan nilai PGA, yaitu melalui pengukuran alat (*accelerograf*) dan perhitungan empiris. Pendekatan metode empiris tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum.

Tabel 2. 1 Skala menurut *Modified Mercalli Intensity* (MMI)

Skala	Keterangan	PGA (gals)	PGA (g)	S-Wave	
				(%g)	(g)
I	Tidak dirasakan kecuali oleh beberapa orang dalam keadaan tenang			<0,17	0,0017
II	Dirasakan oleh beberapa orang yang diam, terutama di lantai-lantai atas bangunan. Benda-benda ringan digantung bergoyang				
III	Dengan jelas terasa diruangan terutama dilantai-lantai atap bangunan, namun banyak yang tidak menyadari terjadi gempa. Kendaraan yang sedang berdiri sedikit bergoyang. Getaran seperti truk yang sedang melintas.			0,17-1,4	0,0017-0,014
IV	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang didalam rumah. Beberapa dirasakan juga diluar rumah. Pada malam hari ebberapa orang terbangun. Piring, jendela dan pintu bergetar, dinding berderik. Terasa seperti truk yang menabrak bangunan. Mobil dan motor yang sedang diam, terlihat bergiyang.	14,7-19,6	0,015-0,02	1,4-3,9	0,014-0,039
V	Dirasakan oleh hampir semua	29,4-	0,03-	3,9-	0,039-

	orang, banyak yang terbangun. Piring, jendela dsbnya pecah. Plester bangunan retak-retak dibagian kecil bangunan. Benda-benda yang tidak stabil terbalik.	39,2	0,04	9,2	0,092
VI	Dirasakan oleh semua orang, banyak yang ketakutan dan berlarian keluar. Beberapa furnitur berat bergeser. Plester-plester dinding berjatuh dan cerobong asap mengalami kerusakan ringan.	58,8-68,8	0,06-0,07	9,2-18	0,092-0,18
VII	Semua orang berlarian keluar. Kerusakan ringan pada bangunan dengan struktur standar, namun sangat besar pada bangunan dengan struktur jelek. Gempa dirasakan juga oleh orang yang naik kendaraan	98-147	0,10-0,15	18-34	0,18-0,34
VIII	Kerusakan ringan pada bangunan yang berstruktur khusus, kerusakan sedang pada struktur standar dan runtuh pada struktur jelek. Cerobong asap pabrik dan monumen roboh. Furnitur berat terlempar. Pasir dan lumpur tersembur keluar, menyebabkan air keruh.	245-294	0,25-0,30	34-65	0,34-0,65
IX	Kerusakan besar terjadi pada bangunan yang kokoh. Rangka-rangka bangunan biasa terlepas dari pondasinya, kerusakan besar pada bangunan kuat dengan sebagian bangunan roboh. Pondasi bangunan bergeser. Tanah retak-retak. Pipa bawah tanah pecah	490-539	0,50-0,56	65-124	0,65-1,24
X	Bangunan kuat dari kayu rusak, sebagian bangunan kayu dan berkerangka serta pondasinya rusak. Retak-retak besar ditengah. Rel melengkung.	>560	>0,6	>124	>1,24

	Terjadi longsor.				
XI	Hanya sedikit bangunan kayu yang masih berdiri. Jembata rusak. Retakan-retakan lebar pada tanah				
XII	Kerusakan total. Gelombang terlihat dipermukaan tanah. Pemandangan menjadi gelap. Benda-benda terlempar				

2.6 Kecepatan Gelombang Permukaan (Vs30)

Respon batuan terhadap getaran gelombang seismik yang melewatinya akan berbeda-beda, tergantung pada jenis batuan. Karakter respon batuan tersebut dapat menunjukkan spesifik dari jenis suatu batuan. Berdasarkan fakta empiris, dapat diketahui bahwa antara satu tempat dengan tempat yang lain memiliki karakteristik dinamik tanah yang berbeda-beda (Hadi dkk., 2013).

Penentuan kelas tanah didasarkan pada kecepatan gelombang permukaan (VS30). Penetapan jenis tanah yaitu antara tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak dapat ditentukan dengan kecepatan rambat gelombang geser (VS). Nilai VS30 ini bergantung pada kondisi fisik batuan sehingga dapat diprediksi berdasarkan parameter geologi dan morfologi. Elevasi atau ketinggian berhubungan erat dengan kekerasan batuan. Pelapukan berlangsung secara intensif pada puncak bukit sedangkan sedimentasi berada pada tingkat yang paling rendah. Sebaliknya pada suatu cekungan, pelapukan berada pada tingkat paling rendah dan pengendapan atau sedimentasi mencapai tingkat maksimum.

Secara sederhana dapat dikatakan bahwa batuan yang berada di puncak bukit merupakan batuan yang keras dan tahan terhadap pelapukan, sedangkan cekungan yang berada di daerah yang lebih rendah merupakan endapan muda yang lunak. Gunung dan bukit berumur tersier atau lebih tua berperan sebagai sumber material sedimen. Klasifikasi relief berdasarkan kemiringan lereng dan ketinggian menurut Van Zuidam ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Bermana, 2006).

Tabel 2. 2 Klasifikasi relief berdasarkan kemiringan lereng dan ketinggian menurut Van Zuidam

Tipe	Satuan Relief	Kemiringan Lereng (%)	Beda Tinggi (meter)
I	Datar/hampir datar	0-2	<5
II	Bergelombang/miring landai	3-7	5-50
III	Bergelombang/miring	8-13	50-75
IV	Berbukit bergelombang/miring	14-20	75-200
V	Berbukit tersayat tajam/terjal	21-55	200-500

VI	Pegunungan tersayat tajam/terjal	56-140	500-1000
VII	Pegunungan/sangat curam	>140	>1000

Kemiringan lereng (*slope*) dapat mengindikasikan ketebalan lapisan sedimen. Material hasil pelapukan akan diendapkan lebih tebal pada bagian yang mempunyai kemiringan lereng lebih kecil. Material sedimen di lereng akan jauh lebih tipis dibandingkan dengan endapan sedimen dalam suatu cekungan. Oleh sebab itu, pada elevasi yang tinggi dan kemiringan lereng yang curam, nilai VS30 relatif lebih kecil karena pada daerah tersebut didominasi batuan yang keras. Hasil perhitungan VS30 kemudian dikelaskan ke dalam standar NEHRP untuk mengetahui kelas tanah pada daerah tersebut, klasifikasi tanah berdasarkan *sitclass* ditunjukkan oleh Tabel 2.3 (Cipta, 2018).

Tabel 2. 3 Klasifikasi tanah berdasarkan NEHRP (Cipta, 2018)

Site class	Soil Profile Name	Average Properties in Top 100 feet (as per 2000 IBC section 1615.1.5) Soil Shear Wave Velocity, Vs	
		Feet/Second	Meters/Second
A	Hard Rock	$V_s > 5000$	$V_s > 1524$
B	Rock	$2500 < V_s \leq 5000$	$762 < V_s \leq 1524$
C	Very dense soil and soft rock	$1200 < V_s \leq 2500$	$366 < V_s \leq 762$
D	Stiff soil profile	$600 < V_s \leq 1200$	$183 < V_s \leq 366$
E	Soft soil profile	$V_s < 600$	$V_s < 183$

Analisis kecepatan gelombang geser dapat mengetahui potensi kerusakan apabila terjadi gempa bumi. Hal ini disebabkan karena dampak kerusakan suatu tempat gempa bumi tidak hanya berdasarkan jarak episenter dan besar kekuatan gempa, tetapi juga kondisi lokal daerah setempat. Salah satu metode yang dapat menggambarkan kondisi lokal daerah setempat adalah pemetaan nilai kecepatan gelombang geser (VS30). Guncangan lebih kuat terjadi pada daerah dengan nilai VS30 yang rendah (Susilanto dan Ngadmanto, 2015). VS30 dapat diestimasikan menggunakan pengukuran mikrotremor dan teknik *Microchannel Analysis of Surface Waves* (MASW), selain itu dapat diestimasikan berdasarkan geologi permukaan dan kondisi geomorfologi. Matsuoka dan wakamatsu, 2006, merumuskan perhitungan empiris VS30 berdasarkan informasi geomorfologi dari *Japan Engineering Geomorphologic Classification Map* (JEGM). Perhitungan empiris VS30 adalah sebagai berikut:

$$\text{Log } V_{s30} = a + b \log Ev + c \log Sp + d \log Dm \pm \sigma \quad (2.1)$$

Keterangan:

$VS30$: Kecepatan gelombang geser

Ev : *Elevasi* (ketinggian)

Sp : *Tan Slope* (kemiringan)*1000

Dm : Jarak antar gunung tersier dan pre-tersier (Matsuoka dkk., 2006).

Geomorfologi merupakan ilmu yang mempelajari bentuk lahan pembentuk muka bumi, baik didaratkan maupun didasar lautan dan menekankan pada proses pembentukan dan perkembangan pada masa yang akan datang, serta konteksnya dengan lingkungan. Geomorfologi menempatkan lahan termasuk didalamnya tanah dan kondisi subtanah dan stabilitas lereng, memiliki dampak penting pada pola distribusi bahaya gempabumi. Penetapan wilayah resiko dan bahaya gempabumi merupakan suatu yang realistis berarti mitigasi bencana gempabumi dengan menerapkan metode deduktif (Hidayat, 2014).

2.7 DSHA (*Deterministic Seismic Hazard Assesment*)

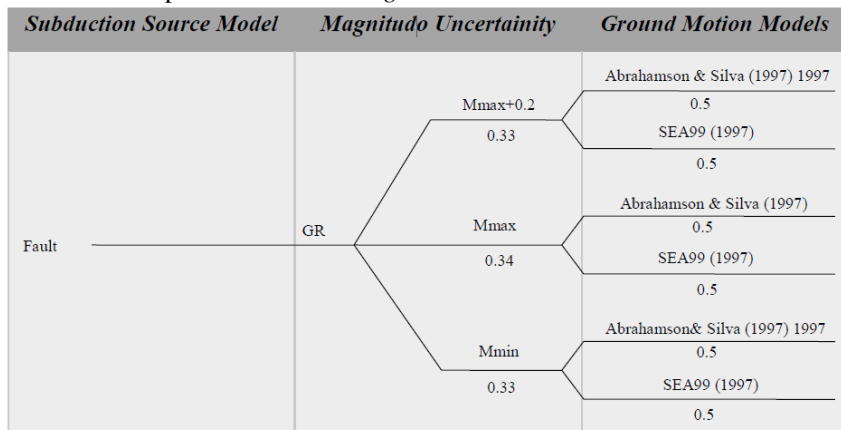
Dalam metode deterministik, dilakukan pembentukan skenario gempa tertentu di batuan dasar dengan memperhitungkan gempa yang terjadi pada suatu lokasi tertentu dalam besaran gempa tertentu. Skenario gempabumi ini berisi mengenai kejadian gempabumi dengan magnitudo tertentu yang akan terjadi pada lokasi tertentu. Metode ini mudah digunakan untuk memprediksi gerakan tanah (*ground motion*) akibat dari gempabumi, namun metode ini tidak mempertimbangkan pengaruh dari ketidakpastian terkait dalam analisis. Pada metode DSHA, biasanya mengikutsertakan keputusan serta pendapat subyektif dari para ahli, khususnya dalam penentuan potensi gempa. Akibatnya dalam hal ini terdapat kesulitan dalam pencapaian kesepakatan mengenai potensi gempa yang terjadi (Bambang Sunardi, 2016; Kumala, 2016).

Metode DSHA umumnya diaplikasikan untuk mengestimasi percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan, seperti bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) (Irsyam dkk, 2010), bendungan besar, konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, dan untuk keperluan *emergency response*. Kelebihan metode ini adalah mudah digunakan untuk memprediksi gerakan gempa pada skenario terburuk. Sedangkan kelemahannya adalah metode ini tidak mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis (Kramer, 1996).

2.8 *Logic Tree*

Logic-Tree pertama kali diperkenalkan untuk analisis *seismic hazard* oleh (Kulkarni dkk., 1984) dan menjadi alat yang populer pada analisis *seismic*

hazard. *Logic-Tree* ini memperhitungkan seluruh ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter dalam analisis *hazard* gempa dengan menggunakan probabilitas, antara lain yaitu fungsi atenuasi, pemilihan *recurrence model*, *reccurence rate*, dan magnitudo maksimum. Dengan menggunakan metode *logic-tree* ini kebebasan dalam menggunakan berbagai model lebih dapat dikontrol tingkat keakuratannya karena *logic-tree* memberikan faktor bobot yang berbeda-beda untuk masing-masing model. Sehingga antara model satu dengan model yang lainnya dapat dilakukan komparasi akurasi. Dengan menggunakan metode *logic-tree* ini setiap alternatif yang dipilih dalam menentukan parameter-parameter tersebut diberi suatu bobot yang menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah faktor bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu (Bambang Sunardi, 2016). Gambar 2.6 di bawah ini merupakan bentuk dari *logic-tree*.



Gambar 2. 6 Contoh *logic-tree* yang digunakan dalam analisis *seismic hazard* (Pambayun Purbandini, 2017)

2.9 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa (Magnitudo M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) pada lokasi yang ditinjau. Fungsi atenuasi adalah suatu fungsi khas yang diturunkan dari data gempa pada suatu daerah tertentu. Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang diperoleh dari hasil pencatatan alat *accelerograph* saat kejadian. Penurunan semua model atenuasi didasarkan atas analisis statistik dan gerakan tanah terekam. Di Indonesia, karena minimnya data pencatatan *time history*,

pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan di negara lain tidak dapat dihindari. Penentuan fungsi atenuasi didasarkan pada persamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah di mana fungsi atenuasi tersebut dibuat (Bambang Sunardi, 2016).

Mengacu pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli gempa makapersamaan GMPE yang digunakan untuk pengembangan PetaHazard Gempa Indonesiatahun 2017 juga mengalami perubahan. Tiga persamaan GMPE untuk sumber gempashallow *crustal fault* dan *shallow backgroun* menggunakan persamaan GMPE hasilkajian terbaru oleh tiga tim peneliti yang sama seperti tahun 2008. Ketiga persamaan GMPE tersebut dikembangkan oleh Boore-Atkinson NGA (2014), Campbell-BozorgniaNGA (2014) dan Chiou-Youngs NGA (2014). Ketiga persamaan tersebut dikembangkanberdasarkan hasil penelitian tahun 2008. Secara umum ketiga persamaan GMPE (juga dikenal sebagai Persamaan GMPE PEERNGA-West tersebut merupakan tiga dari lima persamaan yang dikembangkan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada *Project Lifelines Program of the Pacific Earthquake Engineering Research Center* (PEER) bekerja sama dengan U.S. Geological Survey (USGS) dan Southern California Earthquake Center. Berikut adalah komparasi dari fungsi atenuasi tersebut.

Tabel 2. 4 Deskripsi perbedaan fungsi atenuasi berdasarkan penurunan data yang digunakan (PUSGEN, 2017)

No	Parameter	Grazier Kalkan 2016	Campbell 2014 NGA	Chiou-Young 2014 NGA	Boore-Atkinson 2014 NGA
1	Rekaman data <i>acceleograph</i>	2583 data dari 47 kejadian	15521 data dari 322 kejadian	20000 data dari 243 kejadian	1574 data dari 58 <i>mainshock</i>
2	Rentang jarak sumber gempa	150 km	500 km	100 – 500 km	0 – 400 km
3	Jarak terdekat patahan	-	80 km	70 km	200 km
4	Kedalaman asumsi kejadian	20 km	18 km	18 km	18 km
5	Rentang magnitudo	M4.9 – M7.4	M3 – M7.9	M3.1 – M7.6	Reverse: M3.5 – M7 dan Strike-slip: M3 – M8.5

2.9.1 Fungsi Atenuasi Boore-Atkinson 2014 NGA

Persamaan GMPE Boore dan Atkinson (2014) NGA dikembangkan dengan model regresi dari data gerakan tanah yang mempunyai rentang jarak antara 0 s/d. 400 km dengan rentang *magnitude* $M = 3$ s/d. 8.5 untuk mekanisme kegempaan *strike-slip* dan *reverseslip* serta $M = 3.5$ s/d 7 untuk mekanisme *normal-slip*. Nilai VS_{30} yang dapat digunakan pada persamaan GMPE ini berkisar antara 150 s/d 1500 m/s. Persamaan ini dapat digunakan untuk kedalaman basin z_1 antara 0 s/d 3 Km. Persamaan dan parameter yang digunakan pada Boore dan Atkinson (2008) NGA dapat dilihat pada Persamaan di bawah ini.

$$\ln Y = Fe(M, mech) + Fp(Rjb, M, region) + Fs(Vs30, Rjb, M, z1) + \epsilon \sigma(M, Rjb, Vs30)$$

Untuk $M \leq Mh$

$$Fe(M, mech) = (e0 * U) + (e1 * SS) + (e2 * NS) + (e3 * RS) + e4(M - Mh) + e5(M - Mh)^2$$

Untuk $M > Mh$

$$Fe(M, mech) = (e0 * U) + (e1 * SS) + (e2 * NS) + (e3 * RS) + e6(M - Mh)$$

$$Fp(Rjb, M, region) = [c1 + c2(M - Mref)] * \ln\left(\frac{R}{Rref}\right) + (c3 - \Delta c3)(R - Rref)$$

dengan

$$R = \sqrt{Rjb^2 + h^2}$$

Persamaan amplifikasi lapangan adalah

$$Fs(Vs30, Rjb, M, z1) = \ln(Flin) + \ln(Fnl) + F\delta n1(\delta z1)$$

Dengan $Flin$ dan Fnl adalah berturut-turut bagian linier dan nonlinier sedangkan bergantung pada kedalaman basin dan nilai amplitudo $F\delta z1$. Pada bagian linier

Untuk $VS_{30} \leq V_o$

$$\ln(Flin) = c * \ln\left(\frac{Vs30}{Vref}\right)$$

Untuk $VS_{30} > V_o$

$$\ln(Flin) = c * \ln\left(\frac{Vc}{Vref}\right)$$

Pada bagian nonlinier

$$\ln(Fnl) = f1 + f2 * \ln\left(\frac{PGAr + f3}{f3}\right)$$

dengan f1, f2 dan f3 adalah koefisien dan PGA adalah median *Peak Ground Acceleration*. Nilai f2 menunjukkan derajat nonlinearity yang nilainya bergantung pada nilai VS30. Nilai f2 dapat diturunkan dari persamaan di bawah:

$$f2 = f4[\exp\{f5(\min(Vs30, 760) - 360)\} + \exp\{f5(760 - 360)\}]$$

f4 dan f5 pada persamaan di atas merupakan koefisien.

Nilai $F\delta z1$ dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F\delta n1(\delta z1) = \begin{cases} 0; & T < 0,65 \\ f6 * \delta z1; & T \geq 0,65 \text{ dan } \delta z1 \leq f7/f6 \\ f7 & T \geq 0,65 \text{ dan } \delta z1 > f7/f6 \end{cases}$$

$$\delta z1 = z1 - \mu z1(Vs30)$$

Nilai $\mu z1$ dapat diambil dari dua contoh persamaan dibawah yang dikembangkan dari data di California dan Jepang

California:

$$\ln(\mu z1) = -\frac{7,15}{4} \ln\left(\frac{Vs30^4 + 570,94^4}{1360^4 + 570,94^4}\right)$$

Jepang

$$\ln(\mu z1) = -\frac{5,23}{4} \ln\left(\frac{Vs30^2 + 412,39^2}{1360^2 + 412,39^2}\right)$$

Keterangan :

M : Momen Magnitudo

Rjb : Jarak terdekat dari patahan

$Vs30$: Kecepatan gelombang geser

U : Variabel *unspecific*

SS : Variabel *strike-slip*

NS : Variabel *normal-slip*

RS : Variabel *reverse-slip* (Boore dkk., 2014)

2.9.2 Fungsi Atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA

Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA merupakan pengembangan dari Chiou-Youngs, 2008. Persamaan ini merupakan hasil pengolahan dari data

pencatatan gempa pada tahun 2008 ditambah dengan data pencatatan sampai tahun 2013. Jumlah data yang digunakan untuk pengembangan persamaan ini diperoleh dari lebih dari 20000 data dari 243 peristiwa gempa yang terjadi di California, Jepang, New Zealand, Taiwan dan Turkey dengan magnitude antara 3.1 sampai $M_w = 7.6$. Bentuk umum dari persamaan Chiou-Youngs 2014 NGA dapat dilihat pada Persamaan di bawah:

$$\begin{aligned}
& \ln(Y_{refij}) \\
& = C1 + \left\{ C1a + \frac{C1c}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} Frv \\
& + \left\{ C1b + \frac{C1d}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} Fnm_i \\
& + \left\{ C7 + \frac{C1b}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} \Delta Z_{tori} \\
& + \left\{ C11 + \frac{C11b}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} (\cos \delta i)^2 \\
& + C2 \ln(Rrupij + C5 \cosh(C6 \cdot \max(M1 - Chm, 0))) \\
& + (C4a + C4) \ln(\sqrt{R^2 r_{upij} + C7b^2}) + \left\{ Cy1 + \frac{Cy2}{\cosh(\max(Mi - Cy3, 0))} \right\} \cdot Rrupij \\
& + C8 \max \left(1 \right. \\
& \quad \left. - \frac{\max(Rrupij - 40, 0)}{30} \right) \min \left(\frac{\max(Mi - 5.5, 0)}{0.8}, 1 \right) e^{C8a(Mi - C8b)} \Delta DPP_{ij} \\
& + C9 \cdot FM_{wij} \cdot \cos \delta i \{ C9a + (1 - C9a) \tanh \left(\frac{Rrupij}{2} \right) \} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{Rjbj^2 + Z_{tori}^2}}{Rrupij + 1} \right\} \\
& \ln(Y_{ij}) = \\
& \ln(Y_{refij}) + \emptyset 1 \cdot \min \left(\ln \left(\frac{Vs_{30j}}{1130} \right), 0 \right) + \emptyset 2 \cdot \{ e^{\emptyset 3(\min(Vs_{30IJ}, 1130) - 360)} - \\
& e^{\emptyset 3(1130 - 360)} \} \cdot \ln \left(\frac{Y_{refij} e^{n1} + \emptyset 4}{\emptyset 4} \right) + \emptyset 5 \cdot \left\{ 1 - e^{\left(\frac{\Delta Z}{\emptyset 6} \right)} \right\} + n1
\end{aligned}$$

Keterangan :

- M : Moment Magnitude
- RRUP : jarak terdekat ke bidang rupture (km)
- RJB : jarak Joiner-Boore (km)
- RX : koordinat site (Km) tegak lurus terhadap trace fault
- FHW : Hanging Wall flag; 1 untuk $RX > 0$ dan 0 untuk $RX < 0$
- δ : sudut dip rupture
- Ztor : kedalaman puncak rupture (km)
- Frv : 1 untuk 300-1500 dan FRV = 0 untuk yang lain (reverse dan reverse-oblique)
- Fnm : 1 untuk 1200-600 dan FNM = 0 untuk yang lain (normal dan normal-oblique)

- V_{s30} : kecepatan geser rata-rata untuk kedalaman tanah 30 m paling atas(m/dtk)
 $Z_{1.0}$: kedalaman dengan nilai kecepatan rambat gelombang geser 1 Km/s
 $\Delta Z_{1.0}$: nilai rata-rata $Z_{1.0}$ untuk model spesifik California
 DPP : direct point parameter untuk directivity effect (Spudich dkk.,2013)
 ΔDPP : nilai rata-rata DPP (Chiou dan Youngs, 2014)

2.9.3 Fungsi Atenuasi Campbell-Bozorgnia 2014 NGA

Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia (2014) NGA diberlakukan untuk sumber gempa yang berada pada area *shallow crustal (strike slip, reverse dan gempa normal)*. Persamaan ini dikembangkan dengan model regresi dari data *strong-motion* yang dicatat diseluruh dunia. Jumlah data pengamatan tiga komponen gelombang gempa yang digunakan untuk mengembangkan persamaan ini adalah 15521 dari 322 peristiwa gempa dengan magnitudo antara 3 sampai $M_w = 7,9$. Jarak sumber gempa yang dapat digunakan dengan persamaan ini maksimum 500 Km dengan jarak bidang *rupture* antara 0 sampai 80 Km. Bentuk umum dari persamaan Campbell-Bozorgnia 2014 NGA dapat dilihat pada Persamaan di bawah.

$$\ln Y = \begin{cases} \ln PGA; & Y = PGA, T < 0,25 \\ f_{mag} + f_{dis} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} + f_{hyp} + f_{dip} + f_{attn} \end{cases}$$

Dengan,

f_{mag} (fungsi yang nilainya bergantung pada besarnya magnitude)

$$f_{mag} = \begin{cases} C_0 + C_1 M; & M \leq 4,5 \\ C_0 + C_1 M + C_2 M(M - 4,5); & 4,5 < M \leq 5,5 \\ C_0 + C_1 M + C_2(M - 4,5) + C_3(M - 5,5); & 5,5 < M \leq 6,5 \\ C_0 + C_1 M + C_2(M - 4,5) + C_3(M - 5,5) + C_4(M - 6,5); & M \geq 6,5 \end{cases}$$

f_{dis} (fungsi kebergantungan pada sumber ke site)

$$f_{dis} = (C_5 + C_6 M) \ln(\sqrt{R^2 r_{rup}} + C_7^2)$$

f_{flt} (fungsi kebergantungan pada style faulting)

$$f_{flt} = f_{flt.F} + f_{flt.M}$$

$$f_{flt} = C_8 F_{rv} + C_9 F_{nm}$$

$$f_{flt} = \begin{cases} 0; & m < 4,5 \\ M; & 4,5 \leq M \leq 5,5 \\ 1; & M \leq 5,5 \end{cases}$$

f_{hng} (fungsi kebergantungan pada efek *hanging wall*)

$f_{hng} = C10 \times f_{hng.r} \times f_{hng.Rrup} \times f_{hng.M} \times f_{hng.z} \times f_{hng.\delta}$

$$f_{hng} = \begin{cases} 0; & Rx < 0 \\ f1(Rx); & 0 < Rx < R1 \\ \max[f2(Rx), 0]; & Rx \geq R1 \end{cases}$$

$$f1(Rx) = h1 + h2 \left(\frac{Rx}{R1} \right) + h3 \left(\frac{Rx}{R1} \right)^2$$

$$f2(Rx) = h4 + h5 \left(\frac{Rx - R1}{R2 - R1} \right) + h6 \left(\frac{Rx - R1}{R2 - R1} \right)^2$$

$$R1 = W \cos(\delta)$$

$$R1 = 62M - 350$$

$$f_{hng.Rrup} = \begin{cases} 1; & M \leq 5,5 \\ (M - 5,5)[1 + a2(M - 6,5)]; & 5,5 < M \leq 6,5 \\ 1 + a2(M - 6,5); & M > 6,5 \end{cases}$$

$$f_{hng.z} = \begin{cases} 1 - 0,06Z_{tor}; & Z_{tor} \leq 16,66 \\ 0; & Z_{tor} \geq 216,66 \end{cases}$$

$$f_{hng.\delta} = \frac{90 - \delta}{45}$$

f_{site} (fungsi kebergantungan pada kondisi site)

$$f_{site} = f_{site.G} + S_j f_{site.j}$$

$$f_{site.G} = \begin{cases} C11 \ln \left(\frac{Vs30}{k1} \right) + k2 \left\{ \ln \left[A1100 + C \left(\frac{Vs30}{k1} \right)^n \right] - \ln[A1100 + C] \right\}; & Vs30 \leq k1 \\ (C11 + k2n) \ln \left(\frac{Vs30}{k1} \right); & Vs30 > k1 \end{cases}$$

$$f_{site.J} = \begin{cases} (C12 + k2n) \left[\ln \left(\frac{Vs30}{k1} \right) - \ln \left(\frac{200}{k1} \right) \right]; & Vs30 \leq 200 \\ (C13 + k2n) \ln \left(\frac{Vs30}{k1} \right); & All Vs30 \end{cases}$$

f_{sed} = fungsi kebergantungan pada kondisi basin

$$f_{sed} = \begin{cases} (C14 - C15S_j)(Z2,5 - 1); & Z2,5 < 1 \\ 0; & 1 \leq Z2,5 \leq 3 \\ C16k3e^{-0,75} [1 - \exp(-0,25(Z2,5 - 3))]; & Z2,5 > 3 \end{cases}$$

f_{hyp} = fungsi kebergantungan pada jarak *hypocentral*

$$f_{hyp} = f_{hyp.h} + f_{hyp.M}$$

$$f_{hyp.h} = \begin{cases} 0; & Z_{hyp} \leq 7 \\ Z_{hyp} - 7; & 7 < Z_{hyp} \leq 10 \\ 13; & Z_{hyp} > 6,5 \end{cases}$$

$$f_{hyp}.M = \begin{cases} C17; & M \leq 5,5 \\ [C17 + (C18 - C17)(M - 5,5)]; & 5,5 < M \leq 6,5 \\ C18; & M > 6,5 \end{cases}$$

f_{dip} = fungsi kebergantungan pada sudut dip

$$f_{dip} = \begin{cases} C19\delta; & M \leq 4,5 \\ C19(5,5 - M)\delta; & 4,5 < M \leq 5,5 \\ 0; & M > 5,5 \end{cases}$$

f_{attn} = fungsi kebergantungan pada *unelastic attenuation*

$$f_{attn} = \begin{cases} (C20 + \Delta C20)(Rrup - 80); & Rrup > 80 \\ 0; & Rrup \leq 80 \end{cases}$$

Keterangan :

M : Momen Magnitudo

R_{RUP} : Jarak terdekat terhadap bidang *rupture* (Km)

R_{jb} : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang *rupture* (Km)

RX : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari ujung atas dari bidang *rupture*(Km)

W : *down-dip width* dari bidang *rupture* (Km)

Z_{tor} : kedalaman dari puncak bidang *rupture* (Km)

δ : sudut dip rata-rata dari bidang runtuh ($^{\circ}$)

V_{S30} : kecepatan geser rata-rata dari lapisan sampai kedalaman 30 meter (m/s)

A_{1100} : nilai perkiraan median dari PGA pada lapisan batuan yang memiliki nilai $V_{S30} = 1100$ m/s (g)

SJ : indicator variable yang menunjukkan pengaruh dari kondisi regional diman nilai $SJ = 1$ untuk daerah Jepang dan $SJ = 0$ untuk daerah lain.

$Z2.5$: kedalaman sediment yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser 2.5Km/s

Z_{hyp} : kedalaman hypocentral dari gempa (Km)

$C1-C20$: koefisien (Campbell dan Bozorgnia, 2014)

2.9.4 Fungsi Atenuasi Grazier Kalkan 2015 NGA

Ground Motion Prediction Equation (GMPE) adalah persamaan matematis yang dikembangkan untuk memperkirakan nilai strong ground motion di suatu tempat. GMPE memberikan pengukuran intensitas gerakan tanah seperti gerakan tanah maksimum atau respon spectra sebagai fungsi dari magnitudo dan jarak gempa bumi, penting untuk menganalisis seismic hazard.

$$PGA = G1 \times G2 \times G3 \times G4 \times G5$$

$$\ln(PGA) = \ln(G1) + \ln(G2) + \ln(G3) + \ln(G4) + \ln(G5) + \sigma \ln(PGA)$$

$$\ln(G1) = \ln\{[C1 \times \arctan(M+C2)+C3] \times F\}$$

$$\ln(G2) = -0,5 \times \ln[(1 - R/R0)^2 + 4 \times (D0)^2 \times (R/R0)]$$

dimana

$$R0 = C4 \times M + C5$$

$$Do = C6 \times \cos[C7 \times (M + C8)] + C9$$

$$\ln(G3) = -C10 \times R/Qo$$

$$\ln(G4) = bv \times \ln(Vs30/Va)$$

$$\ln(G5) = \ln(1 + A_{bdist} \times A_{bdepth})$$

dimana

$$A_{bdepth} = C11 \times 1 \sqrt{\left\{1 - \left[\frac{C12}{Bdepth+0,1}\right]^2\right\}^2 + 4 \times C13^2 \times \left[\frac{1,5}{Bdepth+0,1}\right]^2}$$

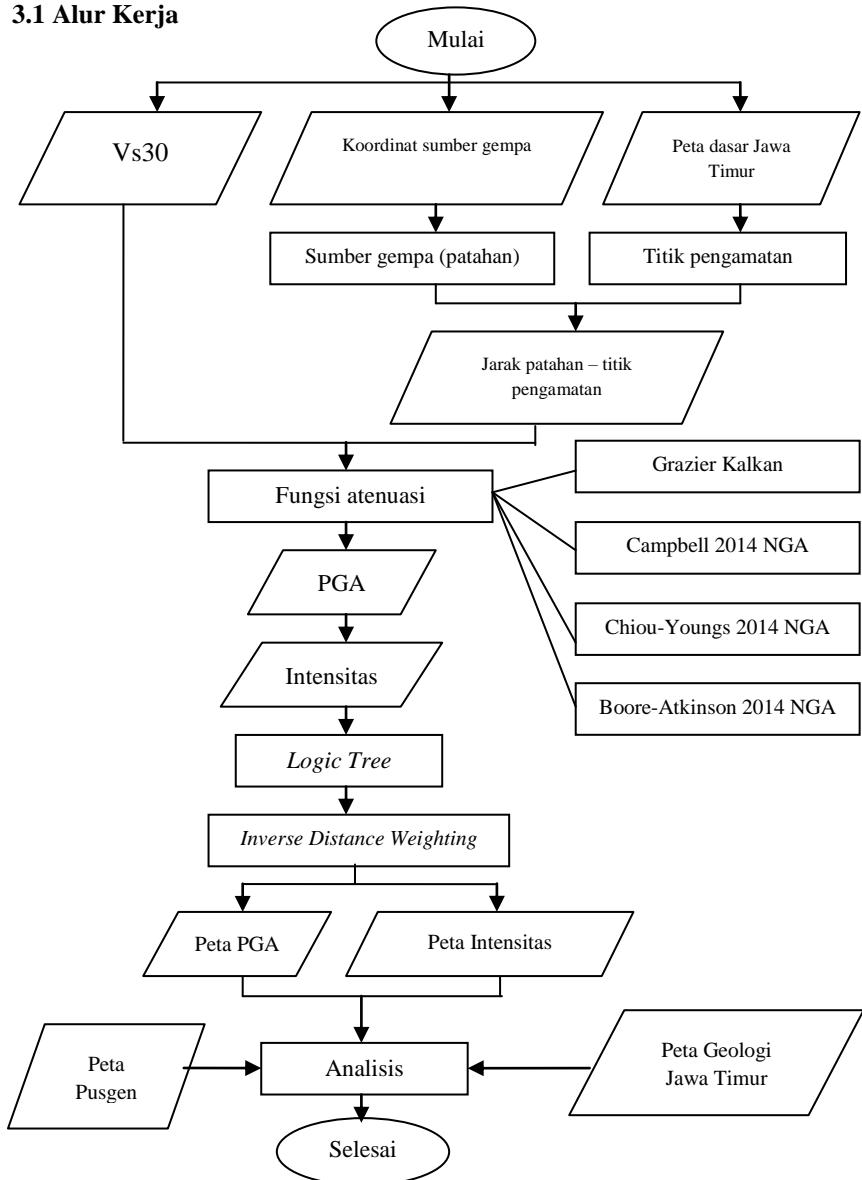
$$A_{bdist} = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left[\frac{C14}{R+0,1}\right]^2\right\}^2 + 4 \times C13^2 \times \left[\frac{40}{R+0,1}\right]^2}}$$

Dimana

- M : Besar Magnitudo gempa
- R : Jarak terdekat dengan dari patahan terhadap titik pengamatan (km)
- VS30 : Rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (m/s)
- Bdepth : kedalaman cekungan di bawah situs dalam kilometer
- F : Model patahan
- F = 1.0 untuk strike-slip dan sesar normal
- F = 1,28 untuk sesar terbalik
- F = 1,14 untuk kombinasi strike-slip dan reverse faulting
- C1-C10 : Estimator koefisien Grazier Kalkan
- Bv : Estimator koefisien Grazier Kalkan
- Va : Estimator koefisien.Grazier Kalkan (Graizer dan Kalkan, 2016)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Kerja



Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Daerah dan Waktu Penelitian

Proses pengolahan data dalam penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Mei 2018 bertempat di Departemen Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penelitian ini dilakukan analisis bahaya (*hazard*) gempa untuk wilayah Jawa Timur.

3.3 Perangkat

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan seperangkat laptop sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data dalam penelitian ini adalah:

- 1) Software Notepad++
Merupakan software yang memiliki fungsi penyimpan text dalam berbagai ekstensi file. Kegunaannya adalah untuk memasukkan data inputan pada software matlab R2015 dan ArcGis 10.3.1
- 2) ArcGis 10.3.1
Software ini digunakan untuk pengolahan data spasial menjadi data non spasial dan sebaliknya, serta visualisasi output berupa peta persebaran nilai PGA dan Intensitas gempa.
- 3) Matlab R2015
Software ini digunakan untuk pengolahan data numerik yaitu perhitungan jarak patahan, fungsi atenuasi dan *plotting* grafik *spectral acceleration* (SA)

3.4 Data Penelitian

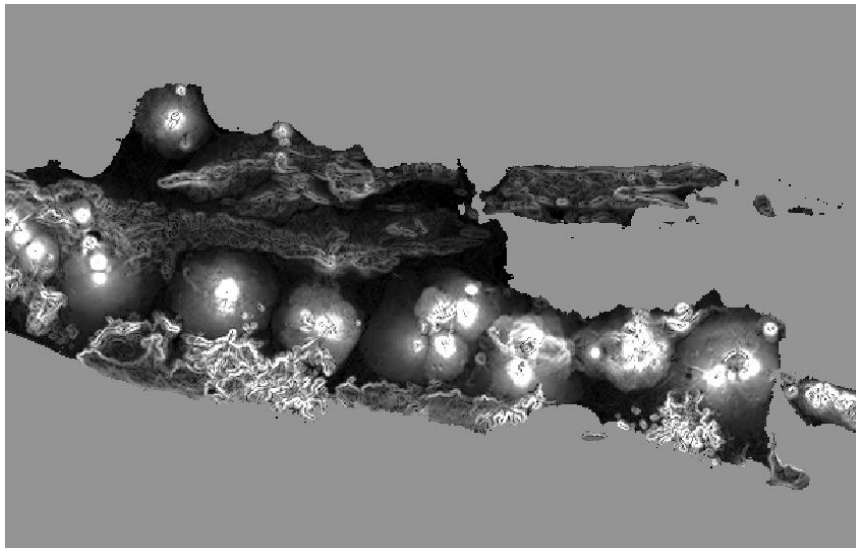
3.4.1 Peta dasar Jawa Timur

Peta yang digunakan adalah peta dasar Jawa Timur dengan format raster dan peta Jawa Timur dengan format *shapefile*. Peta dengan format raster berfungsi sebagai peta dasar pembuatan peta persebaran nilai PGA nantinya. Agar selain mengetahui persebaran nilai, namun juga mengetahui letak suatu wilayah secara administratif. Kemudian peta raster akan di georeferencing agar koordinatnya tepat.

Selain itu, peta dasar Jawa Timur juga berfungsi untuk membuat titik pengamatan dengan jarak per 5 km sehingga membentuk grid seluruh Jawa Timur. Titik pengamatan ini berguna untuk membuat suatu station di satu area yang dianggap mewakili area sekitarnya. Dengan grid per 5 km diperoleh 1923 titik pengamatan seluruh Jawa Timur. Selain sebagai station, titik ini berfungsi dalam parameter penentuan jarak patahan ke suatu wilayah tertentu. Plot titik pengamatan menggunakan software ArcMap 3.1.

3.4.2Data Vs30

Data VS30 yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari United State Geological Survey (USGS). Format data dari USGS adalah *.tif*. Untuk mendapatkan nilai VS30 maka dilakukan ekstrak nilai menggunakan software ArcMap 3.1.



Gambar 3. 2 Gambar peta VS30 dengan format *.tif* (USGS, 2018)

3.4.3Data Sumber Gempa

Data yang digunakan adalah hanya patahan aktif di wilayah Jawa Timur dan diperoleh dari data terbaru Pusat Studi Gempa Nasional (PUSGEN) tahun 2017. Terdapat 7 segmen patahan aktif yang masing-masing berisikan parameter sebagai berikut:

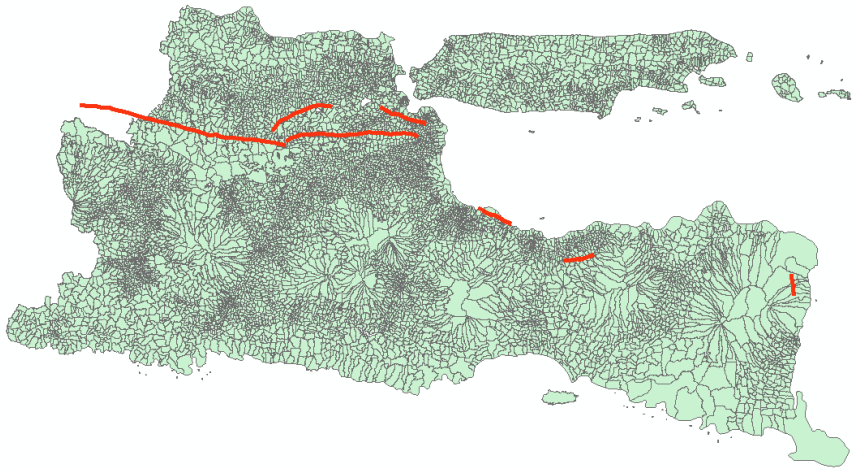
Tabel 3. 1Parameter sumber gempa patahan aktif wilayah Jawa Timur

No	Sesar aktif		Kedudukan			Panjang (km)	Magnitud
	Utama	Segmen	Tipe	Strike	Dip		
1	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Patahan Cepu	R	ESE	45S	100	6.5

2	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Patahan Waru	R	EW	45S	64	6.5
3	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Patahan Surabaya	R	ESE	45S	25	6.5
4	Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone	Patahan Blumbang	R	NE	45S	31	6.6
5	Pasuruan fault	Patahan Pasuruan	N	none	60S	18	6.5
6	Probolinggo fault	Patahan Probolinggo	SS	none	60N	15	6.5
7	Wonorejo fault	Patahan wonorejo	N	none	60E	10	5.7

Tabel 3. 2Koordinat sumber gempa patahan aktif Wilayah Jawa Timur

No	Sumber Gempa	Koordinat lintang	Koordinat bujur
1	Patahan Cepu	112.118136	-7.1945
2	Patahan Waru	112.699432	-7.358207
3	Patahan Surabaya	112.73051	-7.202426
4	Patahan Blumbang	112.320786	-7.309816
5	Patahan Pasuruan	113.108044	-7.646765
6	Patahan Probolinggo	113.337978	-7.853583
7	Patahan Wonorejo	114.341839	-8.033944



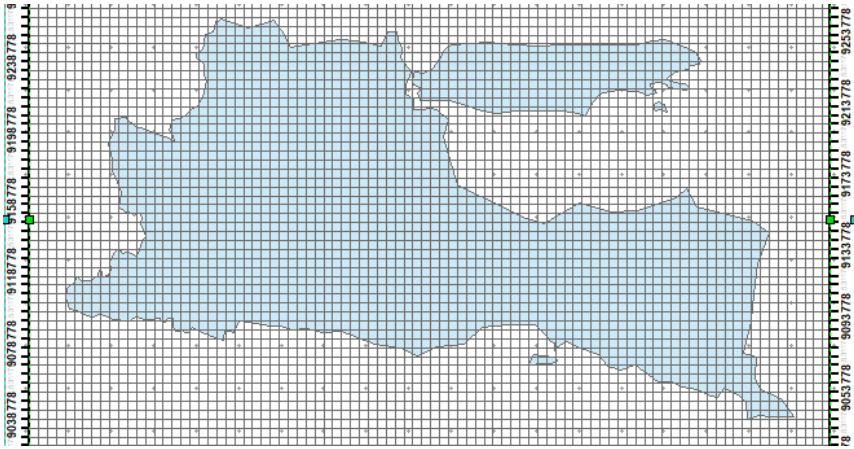
Gambar 3. 3 Peta sumber gempa patahan aktif bagian darat di Jawa Timur

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Plotting Titik Pengamatan

Plotting titik pengamatan dilakukan pada software ArcGis dengan inputan data peta raster Jawa Timur. Peta yang digunakan tidak mengandung unsur koordinat, maka perlu dilakukan *georeferencing* agar nantinya letak suatu lokasi sesuai dengan koordinat dunia. Koordinat yang digunakan jenis UTM. *Plotting* dilakukan dengan metode *grids and graticules wizard* pada *data frame properties*. Tipe yang digunakan adalah *Measured Grid* karena tipe ini akan membuat grid dengan unit jarak (Meter/Mil) dan digunakan untuk peta dengan proyeksi UTM. Karena untuk perhitungan jarak dari patahan menuju *station* diperlukan koordinat UTM agar keluaran yang dihasilkan dalam bentuk meter.

Setelah grid dihasilkan, maka akan terbentuk kotak dengan ukuran 5 km x 5 km sebanyak 1924 kotak. Kemudian grid tersebut dipisahkan dengan peta raster sehingga terbentuk peta *station* Jawa Timur. Caranya dengan mendigitasi masing-masing titik membentuk *shapefile* baru. Kemudian untuk menampilkan koordinat shp barunya melakukan *calculate geometry* pada tabel atribut.



Gambar 3. 4 Gambar hasil *grid* titik pengamatan seluruh wilayah Jawa Timur dalam bentuk proyeksi UTM



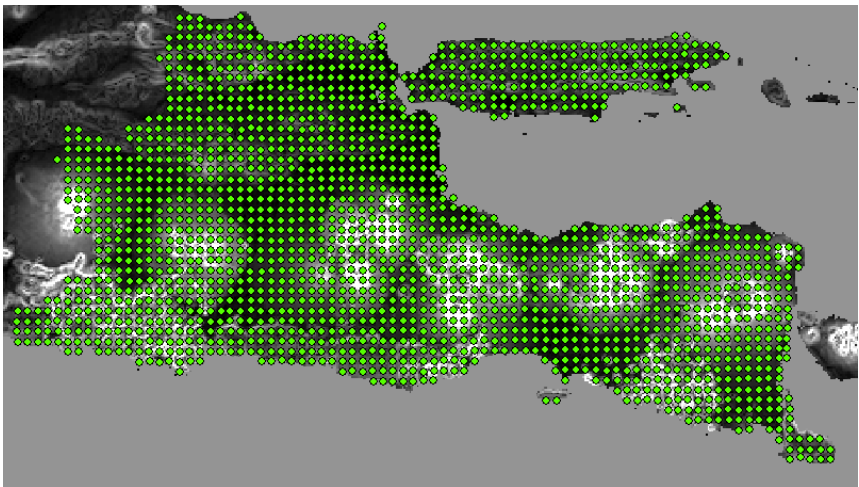
Gambar 3. 5 Gambar hasil *plotting* titik pengamatan seluruh wilayah Jawa Timur dalam bentuk *shapefile*

3.5.2 Ekstraksi Nilai Vs30

Nilai VS30 yang diunduh melalui website USGS berbentuk peta raster, jadi jika diinputkan ke dalam ArcGis tidak mengandung atribut. Maka untuk memunculkan atribut-atribut yang dimiliki harus melakukan ekstraksi nilai.

Koordinat titik *station* dengan nilai VS30 harus disamakan, karena untuk memudahkan melihat nilai VS30 dilokasi yang sama dengan *station*. Selain itu, untuk memudahkan melihat posisi koordinat geologi yang ingin dilihat.

Peta raster VS30 diinputkan di software ArcGis. Kemudian menginputkan juga *shapefile* titik pengamatan. Setelah itu disamakan koordinatnya dengan menu edit feature. Jika telah sama akan terlihat seperti gambar 3.4. Untuk mengekstraksi nilai VS30, digunakan menu *Extract multi values to point* dengan input poin featurenya adalah *shapefile* titik pengamatan dan input rasternya adalah peta VS30 USGS. Setelah proses ekstraksi selesai, akan muncul nilai VS30 pada atribut tabel *shapefile* titik pengamatan yang jumlah dan lokasinya sesuai dengan poin titik pengamatan yang telah dibuat. Nilai bisa dilihat seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3. 6 Peta hasil *plotting* titik pengamatan dengan VS30 yang telah memiliki koodinat sama

FID	Shape *	Id	lintang	bujur	NEAR FID	NEAR DIST	NEAR X	NEAR Y	global vs3
0	Point	0	-7,418145	111,135709	0	0,928437	112,057804	-7,309816	313,166
1	Point	0	-7,601372	111,183422	0	0,921709	112,057804	-7,309816	900
2	Point	0	-7,556141	111,182241	0	0,909553	112,057804	-7,309816	860,282
3	Point	0	-7,50975	111,182221	0	0,898119	112,057804	-7,309816	517,965
4	Point	0	-7,463359	111,182202	0	0,888962	112,057804	-7,309816	431,324
5	Point	0	-7,419288	111,181022	0	0,88359	112,057804	-7,309816	320,989
6	Point	0	-7,374056	111,182165	0	0,877992	112,057804	-7,309816	256,915
7	Point	0	-7,283594	111,180967	0	0,877229	112,057804	-7,309816	301,168
8	Point	0	-7,328825	111,182147	0	0,875863	112,057804	-7,309816	334,725
9	Point	0	-7,284733	111,227428	0	0,830754	112,057804	-7,309816	307,263
10	Point	0	-7,326485	111,227449	0	0,830522	112,057804	-7,309816	270,12
11	Point	0	-7,372876	111,227473	0	0,832722	112,057804	-7,309816	250,143
12	Point	0	-7,418107	111,227496	0	0,83734	112,057804	-7,309816	311,315
13	Point	0	-7,462179	111,226357	0	0,845292	112,057804	-7,309816	407,103
14	Point	0	-7,509729	111,227543	0	0,853989	112,057804	-7,309816	476,261
15	Point	0	-7,553801	111,226404	0	0,866461	112,057804	-7,309816	844,304
16	Point	0	-7,597872	111,226427	0	0,879866	112,057804	-7,309816	900
17	Point	0	-7,644752	111,225239	0	0,89741	112,057804	-7,309816	900
18	Point	0	-7,689559	111,226386	0	0,914035	112,057804	-7,309816	730,34
19	Point	0	-7,734368	111,225287	0	0,934521	112,057804	-7,309816	859,455
20	Point	0	-8,142176	110,95346	0	1,382895	112,057804	-7,309816	362,109

Gambar 3. 7 Tabel atribut pada *shapefile* titik pengamatan

3.5.3 Perhitungan Jarak

1. Arcgis 10.3.1

Data inputan di software matlab berupa data numerik dengan format text segala ekstensi. Data yang diperlukan untuk perhitungan jarak terdekat dari setiap titik pengamatan terhadap setiap patahan adalah koordinat titik pengamatan dan patahan dalam bentuk UTM. Untuk peta titik pengamatan atau *station* sudah dibuat. selanjutnya membuat *shapefile* baru untuk peta sumber gempa berupa patahan aktif wilayah Jawa Timur. Karena terdapat patahan cepu yang merupakan bagian dari segmen utama zona kendeng-baribis hingga Jawa Tengah, maka perlu di pisahkan dengan segmen patahan kemenerusannya dengan select atribut dan memilih atribut patahan yang diinginkan dan membentuk *shapefile* baru khusus segmen patahan aktif Jawa Timur.

Setelah terbentuk *shapefile* segmen patahan Jawa Timur, kemudian setiap segmen patahan di ekstraksi nilai koordinatnya. Feature yang digunakan adalah editing featre point hingga terbagi beberapa segmen poin di setiap patahan. Kemudian setiap segmen tadi akan di calculate geometry sehingga diperoleh beberapa nilai koordinat pada setiap patahan tersebut. Jumlahnya akan mengikuti sesuai panjang segmen patahan yang berbeda-beda. Kemudian masing-masing nilai koordinat di ekstraksi dari atribut tabelnya ke menjadi file format teks.

2. Matlab R2015

Inputan data yang dibutuhkan pada perhitungan jarak terdekat ini adalah input data koordinat station dan input data koordinat patahan. Kemudian konsepnya adalah menghitung jarak terdekat dari masing-masing titik pengamatan terhadap masing-masing segmen patahan. Kemudian dibuat looping perhitungan dengan panjang looping sama dengan panjang matriks titik pengamatan. Kegunaan dari dibaginya koordinat patahan menjadi beberapa segmen poin adalah agar mendapatkan interval yang memudahkan pemilihan jarak terdekatnya. Keluaran yang dihasilkan nantinya adalah nilai jarak terdekat sebanyak 1923 data dalam satuan meter.

3.5.4 Pemilihan Fungsi Atenuasi

Dalam menurunkan fungsi atenuasi diperlukan data percepatan tanah yang banyak supaya didapatkan suatu fungsi atenuasi yang sesuai untuk daerah penelitian. Di wilayah Indonesia, ketersediaan data percepatan tanah masih belum cukup untuk menghasilkan suatu fungsi atenuasi yang baik. Oleh karena itu, untuk analisis bahaya dapat menggunakan fungsi atenuasi yang diturunkan dari wilayah lain yang memiliki kemiripan kondisi tektonik dan geologi di Indonesia. Pemilihan fungsi atenuasi yang digunakan harus didasarkan pada mekanisme sumber gempa yang digunakan (Sunardi, 2013).

Pada penelitian ini, fungsi atenuasi yang digunakan telah dikelompokkan berdasarkan mekanisme sumber gempa yang secara umum dibagi ke dalam beberapa klasifikasi. Klasifikasi yang digunakan yaitu zona sumber gempa subduksi, zona sumber gempa patahan, dan zona sumber gempa background yang terdiri atas shallow background dan deep background. Penelitian ini menggunakan sumber gempa patahan, maka fungsi atenuasi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 3Daftar fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian

No	Model sumber gempa	Fungsi atenuasi
1	Patahan	GMPE Graizer and Kalkan, 2015
2		Campbell - Bozorgnia (2014) NGA
3		Boore – Atkinson (2014) NGA
4		Chiou – Youngs (2014) NGA

3.5.5 Perhitungan Fungsi Atenuasi

Dalam analisa kegempaan, Peak Ground Acceleration adalah ukuran bagaimana permukaan bumi bergetar (accelerated) di suatu daerah tertentu. Dalam penelitian ini, digunakan software matlab R2015 untuk perhitungan atenuasi. Dan berikut adalah parameter yang digunakan dalam perhitungan tersebut.

1. Fungsi atenuasi kalkan

Perhitungan pertama pada fungsi atenuasi Kalkan adalah menghitung nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Dalam persamaannya, GMPE Kalkan ini meliputi 5 komponen yang memiliki perbedaan penekanan pada parameter yang berbeda, yaitu G1, G2, G3, G4 dan G5. Masing - masing komponen tersebut kemudian disatukan sebagai persamaan perhitungan nilai PGA. Berikut adalah contoh dari proses perhitungan fungsi atenuasi kalkan pada matlab:

```
61 - c3 = 0.37;
62 - c4 = 2.237;
63 - c5 = -7.542;
64 - c6 = -0.125;
65 - c7 = 1.19;
66 - c8 = -6.15;
67 - c9 = 0.6;
68 - c10 = 0.345;
69 - bv = -0.24;
70 - VA = 484.5;
71 - amp = 1;
72
73 % InPGA = G1 + G2 + G3 + G4 + G5;
74 - G1 = log(( c1 * atan (M + c2) + c3) * F);
75 - Ro = c4*M + c5;
76 - Do = c6 * cos(c7 * (M + c8)) + c9;
77 - G2 = -0.5 * log((1-R/Ro)^2 + 4 * (Do^2) * (R/Ro));
78 - G3 = -c10 * R / Q_0;
79 - G4 = bv * log(VS30 / VA);
80 - A_Bdepth = 1.077/sqrt((1-(1.5/(Bdepth+0.1))^2+4*0.7^2*(1.5/(Bdepth+0.1))^2);
81 - A_Bdist = 1/sqrt((1-(40/(R+0.1))^2+4*0.7^2*(40/(R+0.1))^2);
82 - G5 = log(1 + A_Bdepth * A_Bdist);
83 - InPGA = G1 + G2 + G3 + G4 + G5;
84 - PGA = exp(InPGA) * amp;
85
```

Gambar 3. 8 Perhitungan fungsi atenuasi Kalkan 2015 NGA pada matlab

2. fungsi atenuasi Campbell 2014

Berbeda dengan fungsi atenuasi Kalkan, pada fungsi atenuasi Campbell 2014 tidak mencari nilai PGA melainkan hanya nilai PSA (*Peak Spectral Acceleration*) saja. PSA disini sama halnya dengan Maksimal dari nilai SA. Jadi perhitungan pertama dilakukan untuk mencari nilai SA, kemudian dicari nilai PSA. Setelah itu mengeplot grafik SA (*Spectral Acceleration*) dan mengamati trendnya. Berikut adalah contoh perhitungan fungsi atenuasi campbell pada matlab:

```

77 %%
78 % Kebergantungan magnitudo
79 - if M <= 4.5;
80 -     fmag = c0(ip) + c1(ip) * M;
81 - elseif M <= 5.5;
82 -     fmag = c0(ip) + c1(ip) * M + c2(ip) * (M - 4.5);
83 - elseif M <= 6.5
84 -     fmag = c0(ip) + c1(ip) * M + c2(ip) * (M - 4.5) + c3(ip) * (M - 5.5);
85 - else
86 -     fmag = c0(ip) + c1(ip) * M + c2(ip) * (M - 4.5) + c3(ip) * (M - 5.5) + c4(ip) * (M-6.5);
87 - end;
88
89 %% Kebergantungan pada site
90 - fdis = (c5(ip) + c6(ip) * M) * log(sqrt(Rrup^2 + c7(ip)^2));
91
92 %% Kebergantungan pada model patahan
93 - if M <=4.5
94 -     F_fltm = 0;
95 - elseif M<= 5.5
96 -     F_fltm = M-4.5;
97 - else
98 -     F_fltm = 1;
99 - end

```

Gambar 3. 9 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab

3. Fungsi atenuasi ChioYoungs 2014

Sama halnya dengan fungsi atenuasi Campbell 2014, fungsi atenuasi ini juga tidak mencari nilai PGA melainkan langsung mencari nilai SA (*Spectral Acceleration*) dan PSA (*Peak Spectral Acceleration*). Langkah perhitungannya juga sama dengan Campbell dengan hasil berupa nilai dan grafik SA. Yang membedakan adalah pada parameter input. Berikut adalah contoh perhitungan fungsi atenuasi chiou-youngs pada matlab:

```

57 %% Kebergantungan pada magnitudo
58 - term6=c2(ip)*(M-6);
59 - term7=(c2(ip)-c3(ip))/c_n(ip)*log(1+exp(c_n(ip)*(c_m(ip)-M)));
60
61 %% Kebergantungan pada jarak
62 - term8=c4(ip)*log(R_RUP+c5(ip)*cosh(c6(ip)*max(M-c_HM(ip),0)));
63 - term9=(c4_a(ip)-c4(ip))*log(sqrt(R_RUP^2+c_RB(ip)^2));
64 - term10=(c_g1(ip)+c_g2(ip)/(cosh(max(M-c_g3(ip),0))))*R_RUP;
65
66 - if region == 2 || region == 4
67 -     if M>6 && M<6.9
68 -         term10= gamma_JP_IT(ip)*term10;
69 -     end
70 - end
71 - if region == 3
72 -     term10 = gamma_Wn(ip)* term10;
73 - end
74
75 %% Kebergantungan pada model patahan
76 - term2=(c1_a(ip)+c1_c(ip)/(cosh(2*max(M-4.5,0))))*F_RV;
77 - term3=(c1_b(ip)+c1_d(ip)/cosh(2*max(M-4.5,0)))*F_NM;
78

```

Gambar 3. 10 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab

4. fungsi atenuasi Boore Atkinson 2014

Pada perhitungan fungsi atenuasi Boore Atkinson, *output* yang dihasilkan bukanlah SA (*Spectral Acceleration*) melainkan nilai Median dan Maksimum Median. Dimana nilai maksimum median ini adalah nilai PGA. Berikut adalah contoh perhitungan fungsi atenuasi boore-atkinson pada matlab:

```
45 %% Kebergantungan pada mekanisme sumber gempa
46 - if M <= mh(ip);
47 -     F_E = e0(ip) * U + e1(ip) * SS + e2(ip) * NS + e3(ip) * RS + e4(ip) * (M - mh(ip)) + e5(ip)
48 - else
49 -     F_E = e0(ip) * U + e1(ip) * SS + e2(ip) * NS + e3(ip) * RS + e6(ip) * (M - mh(ip));
50 - end;
51
52 %% Kebergantungan pada kondisi regional
53 - if region == 0 || region == 1
54 -     deltac3 = deltac3_gloCATW;
55 - elseif region == 3
56 -     deltac3 = deltac3_CHTU;
57 - elseif region == 2 || region == 4
58 -     deltac3 = deltac3_IITUA;
59 - end
60
61 - r=sqrt(Rjb^2+h(ip)^2);
62 - F_P= (c1(ip) + c2(ip) * (M - mref)) * log (r / rref) + (c3(ip) + deltac3(ip)) * (r - rref);
63
```

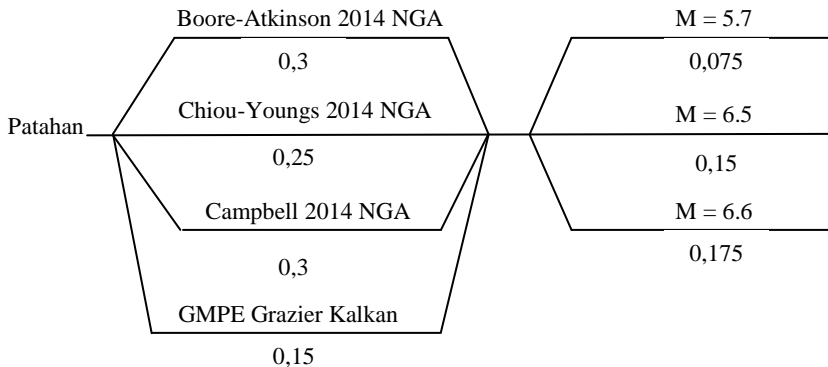
Gambar 3. 11 Perhitungan fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA pada matlab

3.5.6 Logic Tree

Pendekatan logic-tree dilakukan dengan tujuan untuk menentukan pembobotan pada masing-masing parameter yang digunakan pada analisis bahaya gempa dan menggambarkan sistem penentuan tingkat kepercayaan parameter yang digunakan. Pertimbangan yang dilakukan dalam menentukan pembobotan pada penelitian ini terdiri dari beberapa aspek, anatara lain:

1. Parameter jarak terjauh yang dapat dijangkau perhitungan numerik suatu fungsi atenuasi.
2. Penekanan pada parameter Vs30 pada suatu fungsi atenuasi.
3. Besar potensial magnitudo gempa pada suatu sumber gempa.

Berikut adalah *logic tree* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 12 *Logic Tree* penelitian

3.5.7 Grafik *Spectral Acceleration*

Setelah melakukan perhitungan nilai PGA, kemudian dilakukan perhitungan nilai *Peak Spectral Acceleration* (PSA). Akselerasi spektrum (SA) adalah satuan yang diukur dalam g (percepatan karena gravitasi bumi, setara dengan g-force) yang menggambarkan percepatan maksimum dalam gempa bumi pada objek. Akselerasi spektral, dengan nilai yang terkait dengan frekuensi alami getaran bangunan, digunakan dalam rekayasa gempa dan memberikan pendekatan yang lebih dekat ke gerakan bangunan atau struktur lain dalam gempa bumi daripada nilai percepatan tanah puncak. Kemudian nilai SA ini divisualisasikan kedalam bentuk grafik. Fungsi dari grafik ini antara lain dapat melihat perkiraan nilai maksimum pada periode tertentu serta melihat perilaku akselerasi spektra pada suatu skenario gempa di periode tertentu. Asrurifak (2010) telah melakukan perhitungan spektra atenuasi dengan menggunakan ketiga fungsi atenuasi NGA Boore-Atkinson (2008), Campbell-Bozorgnia (2008) dan Chiou-Youngs (2008).

3.5.8 Perhitungan Intensitas Gempa

Intensity (intensitas), adalah tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa. dengan digunakan dalam menentukan kuatnya getaran tanah akibat suatu gempa dengan melihat respon orang atau bangunan yang terasa atau terjadi pada saat gempa berlangsung pada lokasi tertentu. Umumnya menggunakan skala intensitas menurut tingkat kerusakan atau yang dirasakan manusia. Salah satu skala intensitas yang dikenal adalah *MMI* (*Modified Mercalli Intensity*). Persamaan untuk menghitung intensitas gempa dapat menggunakan persamaan dari Murphy & O'Brien seperti di bawah:

$$MMI = 2,86 \log (PGA) + 1,24$$

Dengan catatan PGA dalam satuan Gal. Caranya mengkalikan nilai PGA yang diperoleh dari perhitungan dengan 981. Karena satuan PGA dari perhitungan masih berupa g atau m/s^2

3.5.9 Peta Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempa

Pembuatan peta PGA dan Intensitas dilakukan pada masing-masing sumber gempa patahan untuk masing-masing fungsi atenuasi. Hal ini berfungsi untuk mengetahui perbedaan hasil pemetaan dari masing-masing fungsi. Peta yang dihasilkan sebanyak 56 buah. Kemudian setelah melakukan proses logic tree, dibuatlah peta gabungan dari fungsi atenuasi. Peta yang dihasilkan sebanyak 14 buah, maka total jumlah peta sebanyak 70 buah.

Pemetaan dilakukan menggunakan metode interpolasi deterministik yaitu *Inverse Distance Weighting* (IDW) dalam geostatistika. Alasan digunakannya metode tersebut karena histogram yang dihasilkan dari data nilai PGA tidak terdistribusi normal serta tidak bersifat kontinu. Maka tidak bisa menggunakan metode krigging pada umumnya. Penggunaan metode IDW sendiri memiliki kelebihan pada prinsip interpolasinya. Data akan diarahkan untuk mencari titik data terdekat untuk dalam interpolasi, sehingga interpolasi bersifat lokal dengan akurasi nilai yang cukup bagus. Karena pemetaan ini bersifat fatal, dimana bertujuan untuk pemetaan bencana, maka metode IDW adalah metode yang paling cocok digunakan.

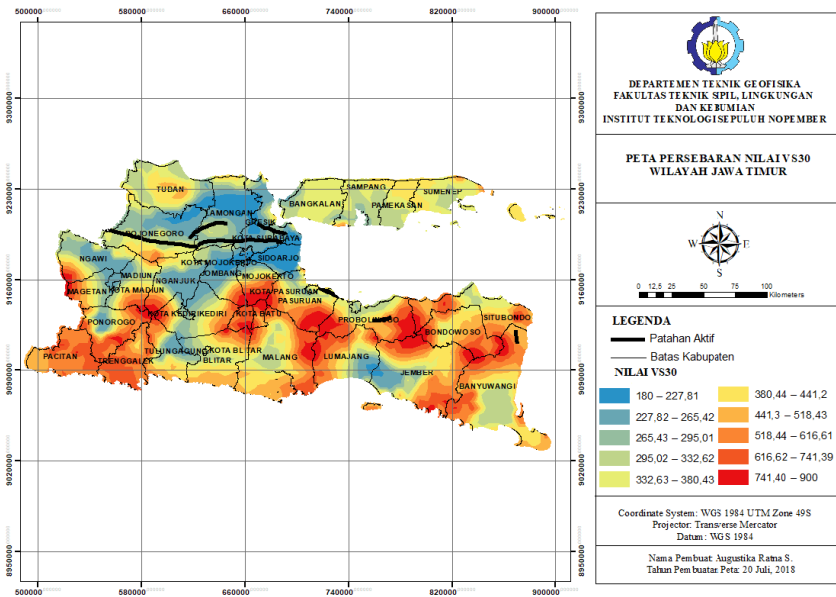
3.5.10 Analisis Bahaya Gempa

Analisa bahaya gempa dilakukan dengan melihat peta persebaran intensitas dan PGA di Wilayah Jawa Timur. Hasil dapat dianalisa dengan peta geologi yang menunjukkan persebaran jenis batuan. Selain itu peta yang dihasilkan dapat divalidasi dengan peta bahaya gempa yang dikeluarkan oleh Pusat Studi Gema Nasional (PUSGEN) tahun 2017.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pesebaran Nilai Vs30 Jawa Timur

Data Vs30 wilayah Jawa Timur diperoleh dari data USGS. Kemudian di ekstraksi dan dipetakan kembali. Vs30 sendiri merupakan nilai gelombang geser (*Shear Wave*) rata-rata hingga kedalaman 30 meter. USGS telah melakukan pendugaan nilai Vs30 dengan parameter kemiringan lereng saja yang diperoleh melalui citra satelit. Kemiringan lereng mencerminkan kekerasan batuan dan ketebalan sedimen, sifat fisik batuan yang menentukan kecepatan gelombang permukaan. Berikut adalah pesebaran nilai Vs30 di wilayah administrasi Jawa Timur



Gambar 4. 1 Pesebaran nilai Vs30 Wilayah Jawa Timur

Nilai Vs30 Jawa Timur memiliki rentang terendah 180 m/s hingga tertinggi sebesar 900 m/s. Dapat dilihat untuk nilai Vs rendah lebih banyak pada daerah utara Jawa Timur. Tepatnya pada sekitar Kabupaten/Kota Sidoarjo, Kota Surabaya, Kabupaten Gresik, Kabupaten Lamongan, sebagian Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Jombang, Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Nganjuk dan sebagian Kabupaten Tuban. Kabupaten tersebut di atas memiliki rentang nilai Vs30 rendah sebesar 180 m/s hingga 295,011 m/s. Dengan rentang nilai sekian, maka berdasarkan klasifikasi tanah NEHRP (Athanasius dan Solikhin, 2015) nilai tersebut masuk dalam kelas E yaitu *soft soil profile* dan kelas D

yaitu *stiff soil* profile. Klasifikasi tersebut sesuai dengan batuan yang terdapat di daerah-daerah tersebut. Antara lain dari lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, bongkahan maupun tanah urukan.

Kemudian untuk nilai paling tinggi yang ditandai dengan warna merah, mendominasi pada daerah gunung dan pegunungan. Hal ini dapat dilihat dari pola melingkar merah di bagian tengah Jawa Timur hingga menuju selatan Jawa Timur. Adapun gunung yang terdapat di bagian tengah tersebut antara lain Gunung Lawu (dari bagian barat) daerah Magetan, kemudian gunung Kawi, Gunung Arjuno, Gunung Semeru, Gunung bromo hingga paling Timur terdapat pegunungan Ijen. Serta daerah kapur pada sekitar Kota Pacitan yang ditandai dengan skala 441,19 m/s hingga 741,39 m/s. Sedangkan untuk wilayah Madura, nilai Vs30 pada skala menengan yaitu dari 265,41 m/s hingga 441,19 m/s. Tidak terdapat topografi yang signifikan pada daerah tersebut, juga tidak terdapat endapan aluvial atau sedimen tebal.

Penjelasan mengapa daerah pegunungan memiliki nilai Vs30 lebih tinggi adalah karena adanya pengaruh elevasi atau ketinggian yang berhubungan erat dengan kekerasan batuan. Pada puncak bukit seperti gunung maupun pegunungan, pelapukan terjadi secara intensif dan memiliki tingkat lebih tinggi. Sedangkan sedimentasi atau pengendapan berada pada tingkat yang lebih rendah. Sebaliknya terjadi pada daerah cekungan, pelapukan berada pada tingkat lebih rendah dibandingkan dengan sedimentasi. Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa batuan yang berada di puncak bukit seperti gunung maupun pegunungan merupakan batuan yang keras dan tahan terhadap pelapukan. Maka gunung dan bukit khususnya yang berumur tersier dapat dikatakan sebagai sumber material untuk sedimentasi. Sedangkan cekungan yang berada di daerah yang lebih rendah merupakan endapan muda yang lunak.

Selain itu, faktor kemiringan lereng (slope) dapat mengindikasikan ketebalan lapisan sedimen. Material hasil pelapukan akan diendapkan lebih tebal pada bagian yang mempunyai kemiringan lereng lebih kecil. Material sedimen di lereng akan jauh lebih tipis dibandingkan dengan endapan sedimen dalam suatu cekungan. Jarak titik pengendapan terhadap sumber material sedimen berperan penting dalam besar butir sedimen yang diendapkan. Makin jauh jarak titik dari sumber akan makin halus material sedimen yang diendapkan, demikian juga sebaliknya. Seperti halnya pada pasir pantai, butiran-butiran tanahnya sangat halus dibandingkan pada daerah pegunungan yang masih terdapat butiran dengan ukuran kerikil. Besar butir sedimen berpengaruh terhadap kekerasan batuan sedimen, makin halus material sedimen, makin lunak endapan sedimen..

Nilai-nilai tersebut dapat di validasi dengan kondisi geologi yang diperoleh dari peta geologi lembar Jawa bagian Timur oleh S. Gafoer dan N. Ratman tahun 1999. Serta peta dasar Jawa Timur yang menunjukkan topografi

dan wilayah administrasi. Pola persebaran bentuk warna juga telah sesuai antara peta Vs30 USGS dengan peta geologi tersebut..

4.2 Peak Ground Acceleration (PGA)

4.2.1 Persebaran nilai PGA masing-masing fungsi atenuasi

Pada penelitian ini, sumber yang digunakan adalah patahan aktif yang berada pada zona administrasi wilayah Jawa Timur. Jumlah sumber gempa sebanyak tujuh buah dengan variasi potensi magnitudo serta panjang patahan yang berbeda. Setelah dilakukan perhitungan numerik, kemudian diperoleh nilai puncak percepatan tanah maksimum atau dikenal sebagai *Peak Ground Acceleration* (PGA). *Acceleration* pada istilah ini bisa dirasakan sebagai perubahan dari kecepatan dalam suatu waktu. Sedangkan nilai terbesar dari beberapa perubahan kecepatan dalam satuan waktu tersebut dikenal sebagai nilai Peak. Maka PGA dapat diartikan sebagai akselerasi maksimum yang dirasakan suatu partikel/lapisan ketika terjadi gerakan gempa. Nilai dari PGA cenderung digunakan untuk memprediksi kekuatan suatu bangunan saat terkena gelombang gempa. Maka dari itu, fokus kedalaman pada penelitian ini terbatas hingga 30 meter. Angka ini diperoleh dari analisis lapisan sedimen rata-rata di Wilayah Jawa Timur dan rekomendasi beberapa referensi yang menyatakan bahwa perencanaan pembangunan yang membutuhkan data nilai gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (Vs30).

Hasil analisis dilakukan beberapa tahap. Yang pertama adalah dilihat dari nilai PGA yang diperoleh dari masing-masing fungsi atenuasi. Hal ini untuk menunjukkan perbedaan nilai yang dihasilkan sekaligus menjadi pertimbangan dalam penentuan bobot *Logic Tree*. Setelah diketahui hasilnya maka akan di analisis nilai setelah dilakukan pembobotan. Nilai dari hasil perhitungan numerik, kemudian divisualisasikan menjadi bentuk peta. Pada teknik pemetaan ini sendiri digunakan interpolasi jenis *Inverse Distance Weighting* (IDW). Pemilihan jenis ini karena data sesuai dengan syarat yang dibutuhkan. Histogram data yang diperoleh tidak terdistribusi normal maka tidak memenuhi syarat penggunaan interpolasi umum seperti krigging. Sedangkan IDW, dengan prinsip pembobotan dengan nilai tetangga terdekat dianggap cocok dengan data. Terbukti juga pada peta tidak muncul kecenderungan bull's eye yang mengindikasikan data cukup rapat dan terinterpolasi dengan baik. Selain itu, tujuan pemetaan adalah memperoleh visualisasi terbaik dari nilai yang dihasilkan. Terlebih dalam pemetaan zonasi daerah rawan bahaya diperlukan keakuratan yang cukup tinggi serta tidak memerlukan ekstrapolasi nilai pada daerah yang tidak terdapat data. Untuk peta yang dibuat, telah diatur power pada IDW sehingga telah diperoleh nilai error minimal yang dapat dicapai.

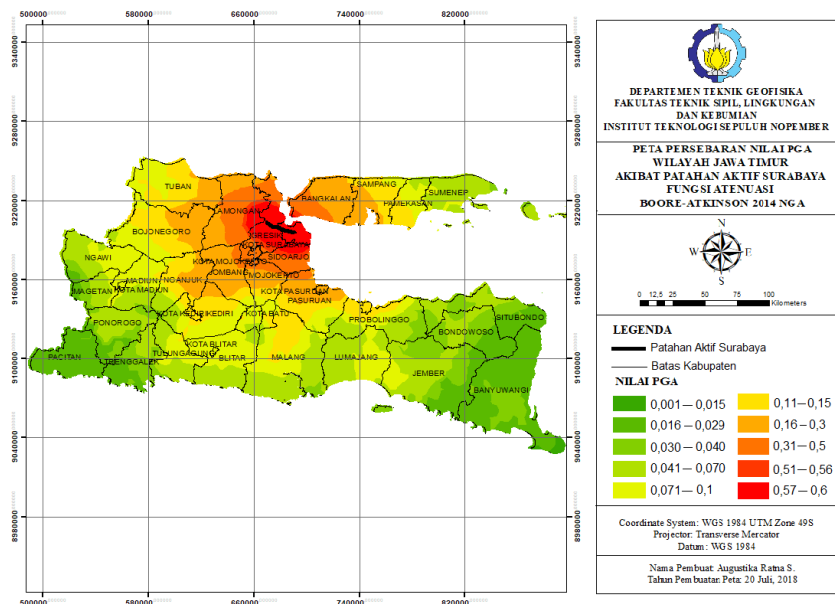
Berikut diberikan sampel nilai dan visualisasi dari PGA di seluruh wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa dari patahan aktif Surabaya yang merupakan segmen patahan *Baribis-Kendeng Fold-Thrust Zone* dengan

panjang patahan sebesar 25 km dan potensi magnitudo 6,5 M. Satuan PGA yang digunakan pada peta ini adalah g atau m/s^2 .

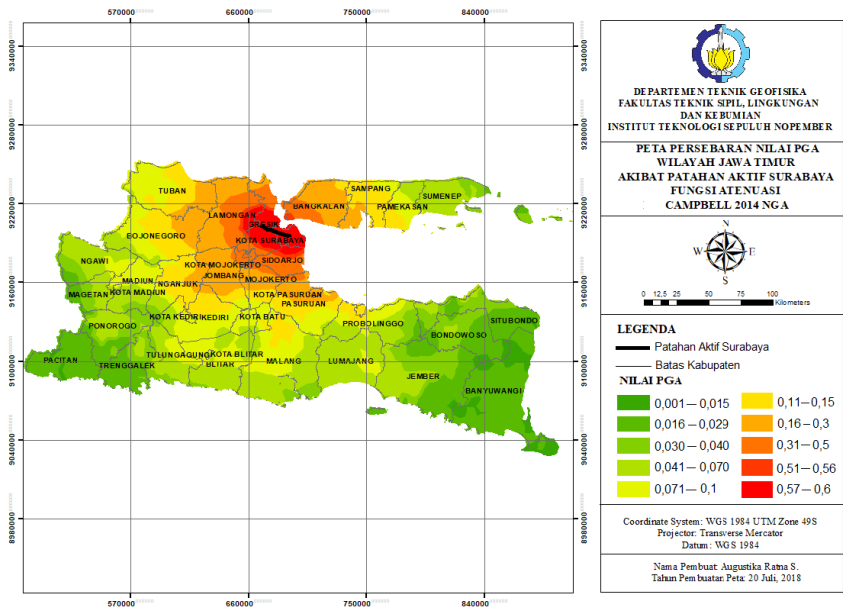
Gambar di bawah merupakan hasil pemetaan nilai PGA dari empat fungsi atenuasi. Hasil analisis dari keempat fungsi tersebut, diperoleh juga nilai PGA yang cukup berbeda. Secara numerik, perbedaan tersebut dapat di lihat sebagai berikut:

1. Fungsi atenuasi Boore-Atkinson 2014 NGA memiliki nilai PGA terendah sebesar 0,0105 g dan nilai tertinggi sebesar 1,136 g.
2. Fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA memiliki nilai PGA terendah sebesar 0,0087 g dan nilai tertinggi sebesar 0,9556 g
3. Fungsi atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA memiliki nilai PGA terendah sebesar 0,0099 g dan nilai tertinggi sebesar 2,0014 g
4. Fungsi atenuasi Grazier Kalkan 2015 NGA memiliki nilai PGA terendah sebesar 0,0076 g dan nilai tertinggi sebesar 0,7436 g.

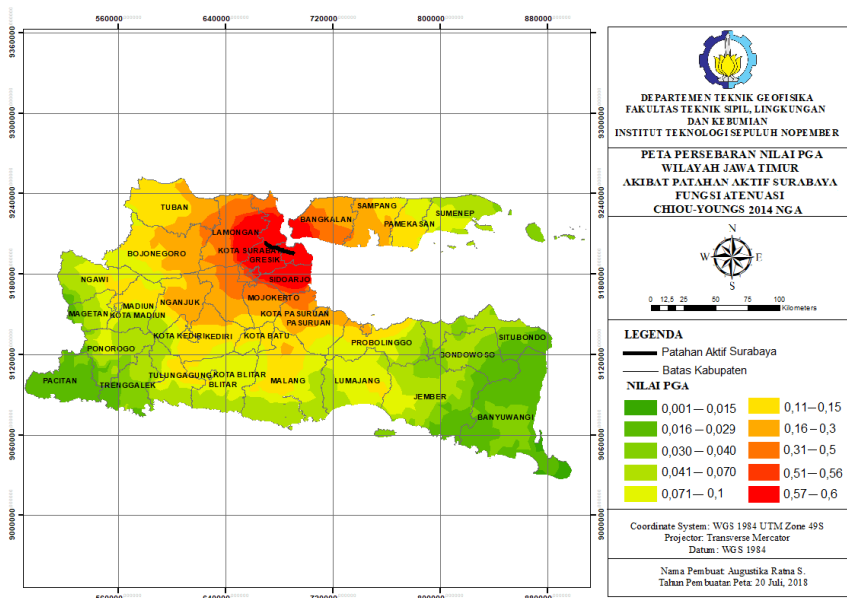
Dari data tersebut dapat diurutkan fungsi atenuasi yang menghasilkan rata-rata nilai PGA terbesar adalah ChiouYoungs, Boore-Atkinson, Campbell kemudian terakhir adalah fungsi Kalkan. Namun selisih nilai yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.



Gambar 4. 2 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5$ M) pada fungsi atenuasi Boore Atkinson 2014 NGA



Gambar 4. 3 Peta persebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5$ M) pada fungsi atenuasi Campbell 2014 NGA



Gambar 4. 4 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5$ M) pada fungsi atenuasi Chiou-Youngs 2014 NGA

Setelah analisis berdasarkan data numerik, selanjutnya analisis berdasarkan hasil pemetaan. Skala yang digunakan dalam bentuk warna dari merah (menandakan nilai PGA tinggi) hingga hijau (menandakan nilai PGA rendah). Ketiga fungsi yaitu Boore-Atkinson (BSSA), Campbell dan Chiou-Youngs secara langsung memperlihatkan efek Vs30 serta jarak antara sumber gempa ke titik pengamatan pada peta. Sedangkan satu-satunya fungsi yaitu Grazier Kalkan, menunjukkan hasil yang sangat signifikan. Kurang memperlihatkan fungsi Vs30 melainkan lebih cenderung ke efek jarak. Dimana semakin jauh jarak maka nilai PGA cenderung kecil.

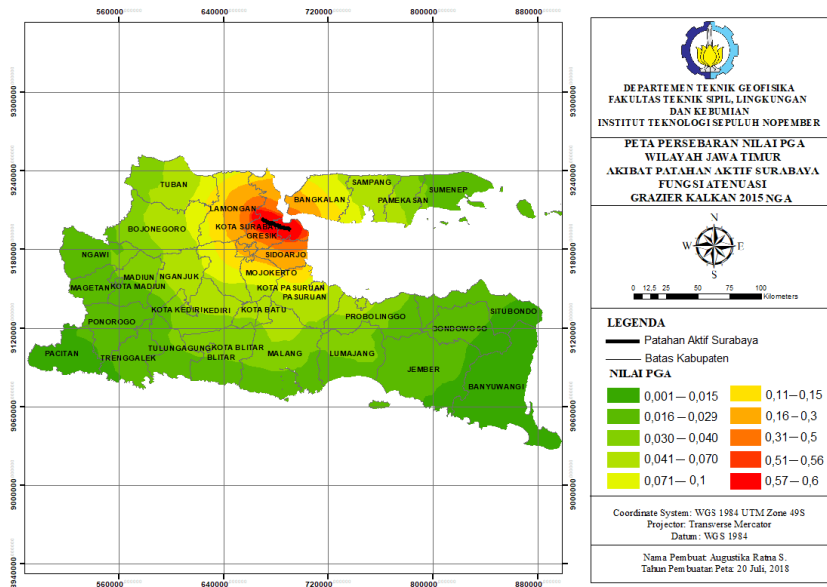
Secara umum, pada ketiga fungsi awal, terlihat daerah rawan dengan nilai PGA tinggi pada daerah dekat sumber gempa yaitu wilayah Surabaya hingga Madura bagian barat dekat dengan selat madura-Surabaya. Kemudian untuk nilai PGA rendah dengan warna hijau adalah di daerah Bayuwangi, dimana daerah cukup jauh dengan sumber gempa serta daerah Pacitan. Meskipun daerah pacitan tidak sejauh Banyuwangi, namun kondisi geologi di daerah tersebut merupakan karst dan batuan beku dikarenakan terdapat pegunungan kapur. Menurut peta geologi Jawa Timur, daerah pacitan sekitarnya didominasi oleh batuan Gunung Api Oligo-Miosen. Dimana tersusun perselingan breksi gunung

api, lava dan tuf, bersisipan batupasir, batulanau dan batulempung tufan. Bersusunan andesit-basal, terpropilitkan, terlipat dan terkekar sangat kuat. Serta batu gamping miosen awal-tengah yaitu batu gamping hablur, kalkarenit bagian bawah, sisipan batu lempung berkarbonat atau tufan dan sedikit gampingan. Sebagian terpualamkan dan terpiritkan akibat pengaruh terobosan andesit sehabis magmatik. Pada daerah Magetan juga amplifikasi terlihat teredam daripada di sekitarnya dikarenakan terdapat gunung Lawu yang memiliki struktur geologi kompak dari batuan beku. Jadi nilai Vs30 pada daerah tersebut juga tinggi. Sehingga amplifikasi dapat teredam pada batuan kompak daripada daerah sedimen lunak seperti wilayah pesisir pantai tuban, lamongan, pasuruan, probolinggo serta daerah dengan endapan vulkanik muda sekitar pegunungan tengah Jawa Timur seperti pada daerah bojonegoro.

Kemudian jika ditinjau lebih lanjut, terdapat pola melingkar dengan skala warna yang menunjukkan nilai PGA rendah pada beberapa daerah Jawa Timur bagian tengah. Dimana daerah tersebut terdapat beberapa gunung aktif seperti Gunung Semeru, Gunung Kawi, Gunung Arjuno, Gunung Welirang dan lain sebagainya. Serta terdapat anomali nilai PGA yang cenderung lebih tinggi dengan pola melingkar pada daerah banyuwangi (Jawa timur bagian timur-selatan). Hal ini dianalisis adanya daerah dengan susunan batuan sedimen oligo-miosen dengan perselingan batu pasir batu lanau, batu lempung dan konglomerat aneka bahan serta beberapa batugamping dari laut dangkal. Sedimen inilah yang menyebabkan peningkatan amplifikasi, nilai PGA lebih tinggi dan gelombang akibat gempa lebih dirasakan

Pada fungsi atenuasi kalkan cenderung lebih besar efek jarak. Kecenderungan tersebut dikarenakan cakupan fungsi jarak terjauh antara titik pengamatan ke sumber gempa adalah sejauh 150 km. Sedangkan ketiga fungsi lainnya memiliki fungsi jarak terjauh sejauh 400 km hingga 500 km. Hal ini menyebabkan ketika perhitungan pada jarak relatif jauh dari sumber patahan, fungsi tidak dapat mencakup topografi maupun efek Vs30 di daerah tersebut. Sehingga menghasilkan gambaran yang menganggap batuan bersifat homogen. Kemudian akan memperlihatkan bahwa percepatan hanya dipengaruhi oleh parameter sumber gempabumi yakni lokasi, kedalaman, magnitude, strike, dip. Daerah yang lebih dekat dengan patahan akan memiliki nilai PGA yang lebih besar daripada daerah yang lebih jauh dari patahan.

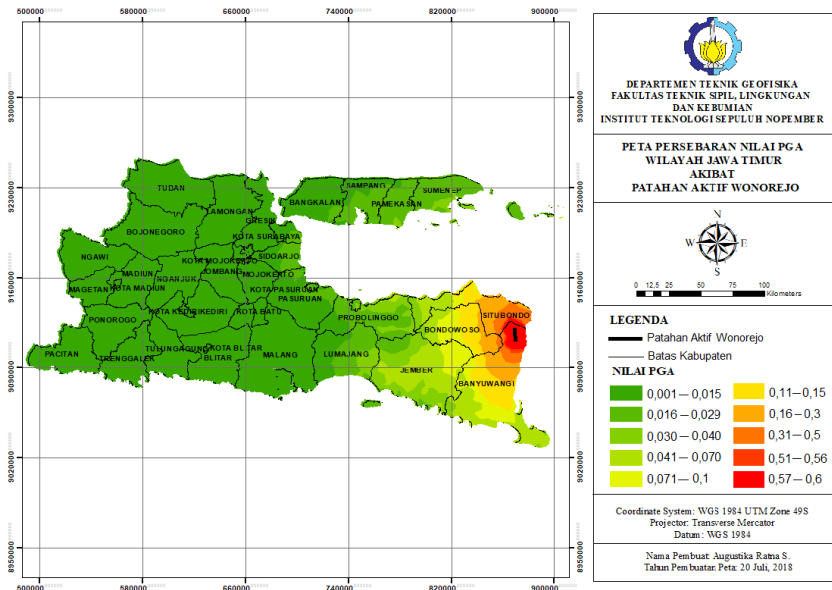
Sedangkan pada peta percepatan dengan mempertimbangkan kelas tanah yang telah dianalisis dari nilai Vs30 nampak bahwa daerah yang lebih dekat dengan patahan memungkinkan memiliki percepatan yang lebih rendah. Daerah yang lebih jauh memungkinkan mengalami dampak yang lebih parah daripada daerah yang lebih dekat pada patahan, hal ini dipengaruhi oleh besarnya amplifikasi tanah yang dipengaruhi kekerasan batuan. Perbedaan nilai yang dihasilkan pada ketiga fungsi awal diindikasikan dari parameter mekanisme sumber gempa yang berbeda hingga persamaan matematis yang berbeda.



Gambar 4. 5 Peta pesebaran nilai PGA wilayah Jawa Timur dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5$ M) pada fungsi atenuasi Grazier Kalkan 2015 NGA

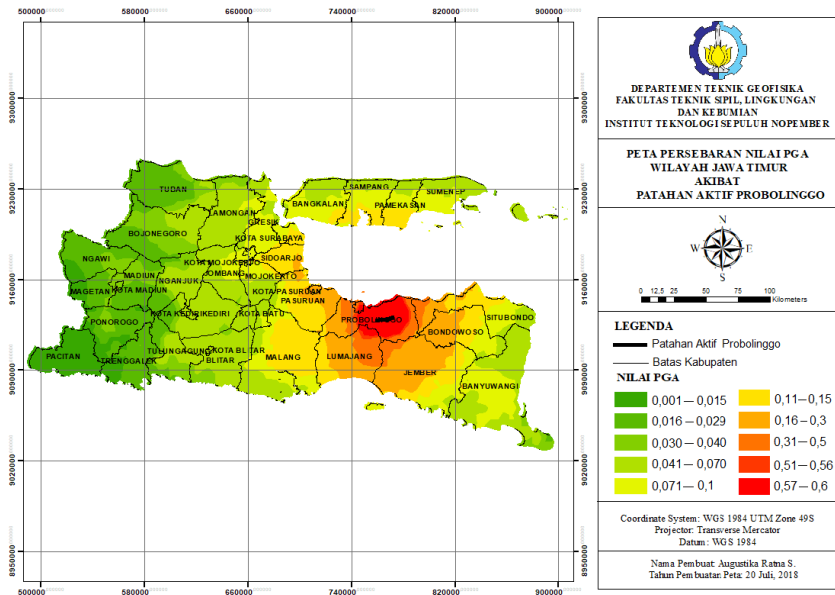
4.2.2 Pesebaran nilai PGA hasil *Logic Tree* sumber gempa

Selanjutnya adalah analisis hasil berdasarkan nilai PGA yang telah melewati proses pembobotan pada *Logic Tree*. Proses ini dilakukan dua tahap. Yang pertama adalah pembobotan berdasarkan parameter mekanisme sumber gempa dan parameter yang terkandung dalam masing-masing fungsi atenuasi. Setelah itu dilakukan pembobotan berdasarkan potensi kejadian dari besar magnitudo. Sehingga hasil akhirnya akan diperoleh satu peta yang menggambarkan akumulasi deterministik resiko kejadian dari tujuh patahan aktif Wilayah Jawa Timur. Kemudian dapat ditentukan zonasi wilayah berbahaya, sedang dan aman. Berikut adalah peta pesebaran nilai PGA berdasarkan *logic tree* parameter sumber gempa dan potensi magnitudo. Berikut adalah tujuh peta hasil pembobotan dari sumber gempa:



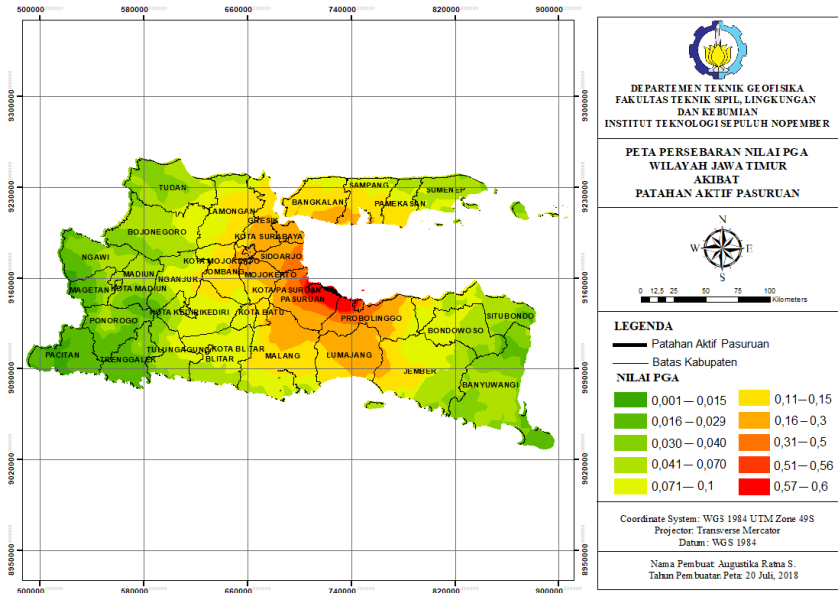
Gambar 4. 6 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Wonorejo ($R = 10$ km; $M = 5,7M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Wonorejo. Panjang patahan tersebut adalah 10 km dengan potensi magnitudo 5,7M. Lokasi patahan terletak di ujung timur pulau Jawa pada daerah pesisir pantai. Namun untuk latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong tinggi yaitu 300 m/s hingga 700 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,001237 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $1,055897 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Dengan potensi magnitudo dan besar patahan, energi yang dapat ditimbulkan tidak cukup besar dibandingkan dengan patahan yang lain. Bisa terlihat dari rentang nilai PGA dan cakupan wilayah yang terimbas. Sebagian besar memiliki nilai PGA rendah dengan rentang nilai $0,001 \text{ m/s}^2$ hingga $0,04 \text{ m/s}^2$. Namun pada wilayah Kabupaten Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo terlihat adanya amplifikasi ditandai dengan nilai PGA yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya. Hal tersebut dapat di validasi dengan kondisi geologi daerah tersebut yang didominasi oleh batuan sedimen yaitu aluvium, tanah urukan serta daerah yang terletak di pesisir pantai.



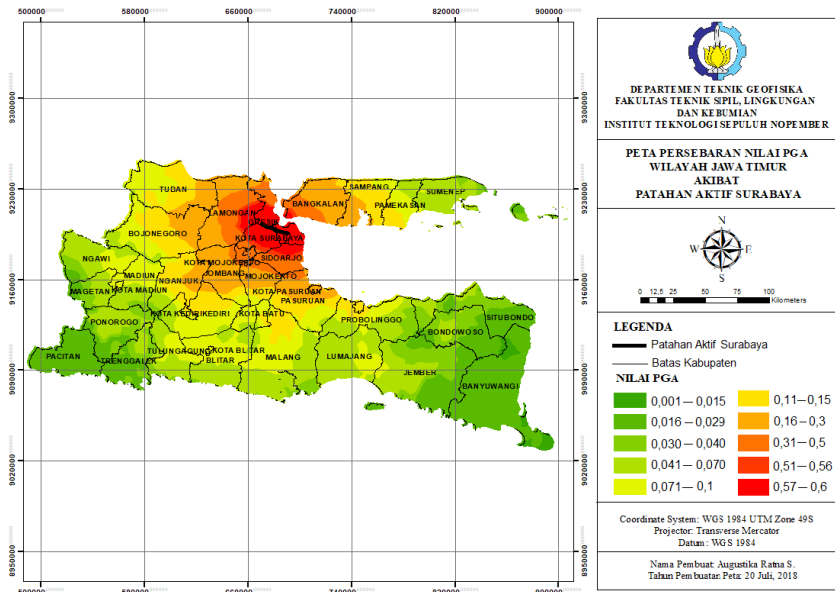
Gambar 4. 7 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Probolinggo (R = 15 km; M = 6,5M)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Probolinggo. Panjang patahan tersebut sepanjang 15 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah strike slip dengan dip 60N. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Probolinggo. Namun untuk latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong menengah cenderung tinggi yaitu 265,4 m/s hingga 551 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara 0,007633 m/s² untuk nilai terendah hingga 1,325447 m/s² untuk nilai tertinggi. Faktor yang memengaruhi anatara lain dari segi potensi magnitudo serta mekanisme sumber gempa patahannya. Energi yang dihasilkan dari sumber ini lebih besar dari sumber sebelumnya. Dengan dominasi nilai PGA sebesar 0,029 m/s² hingga 0,5m/s². Daerah yang paling aman dengan amplifikasi rendah adalah Kabupaten Magetan serta Kabupaten Pacitan yang memiliki nilai Vs30 tinggi, serta kondisi geologi yang cukup kompak. Yaitu daerah gunung Lawu pada Kabupaten Magetan serta daerah pegunungan karst pada Kabupaten Pacitan. Sehingga amplifikasi yang terjadi sangat kecil dan gelombang gempa yang dirasakan juga berenergi kecil.



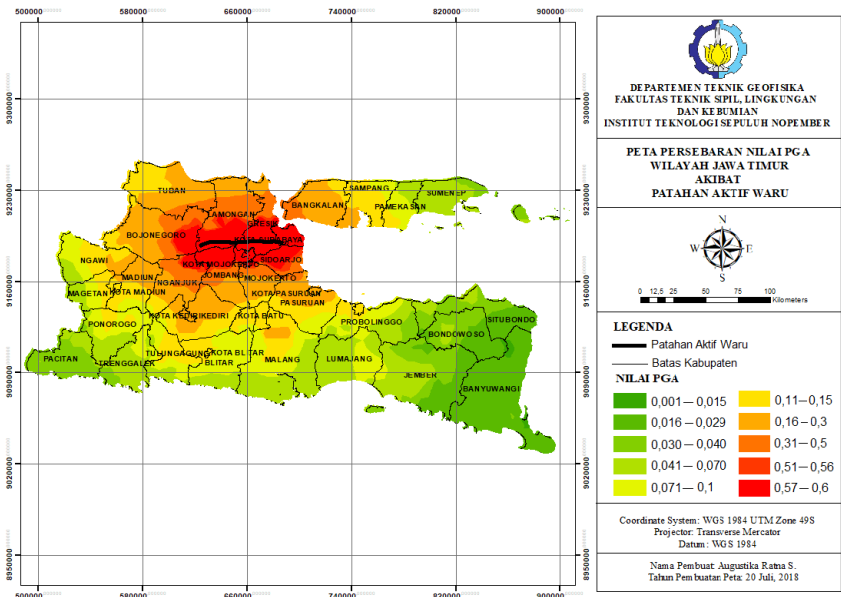
Gambar 4. 8 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Pasuruan ($R = 18$ km; $M = 6,5M$)

Gambar di atas merupakan peta persebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Pasuruan. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 18 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah normal fault dengan dip 60S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Pasuruan. Latar belakang geologipada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong menengah cenderung rendah yaitu 265,4 m/s hingga 441 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,010702 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $1,227626 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Untuk daerah yang memiliki nilai PGA paling rendah berada pada daerah Kabupaten Magetan ,Kabupaten Pacitan dan Kabupaten Banyuwangi tepatnya di daerah sekitar taman nasional alas purwo. Pada peta terlihat efek yang ditimbulkan lebih besar dari pada patahan probolinggo meskipun memiliki potensi magnitudo yang sama dan panjang patahan yang tidak jauh berbeda. Namun menurut analisis segi geologinya, faktor amplifikasi pada daerah patahan dan sekitarnya yang merupakan daerah sedimen dengan nilai V_{s30} cenderung rendahlah yang menyebabkan dominasi pesebaran nilai PGA menengah cenderung tinggi.



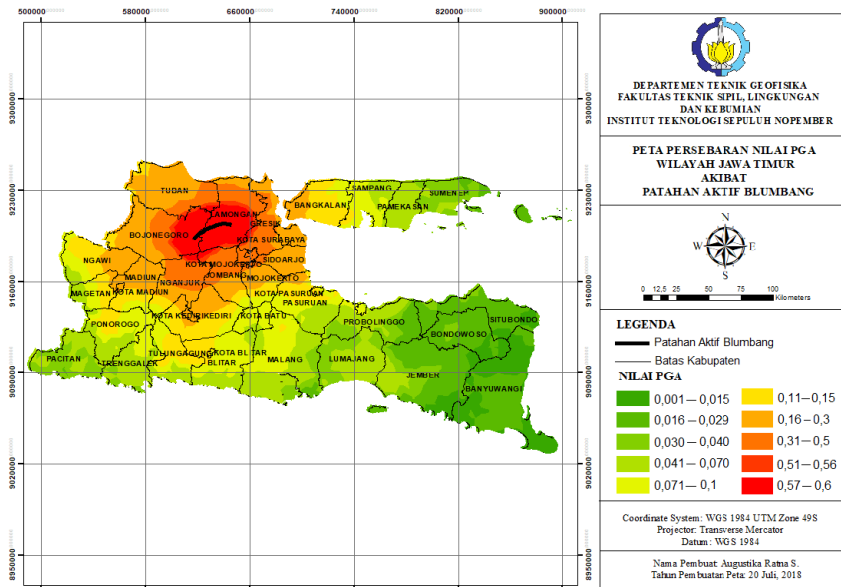
Gambar 4. 9 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Surabaya. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 25 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kota Surabaya. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong rendah yaitu 180 m/s hingga 265,01 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,0094 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $1,221322 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Nilai tersebut tidak jauh beda dengan nilai PGA yang dihasilkan oleh patahan pasuruan. Untuk daerah paling aman yang memiliki nilai PGA rendah yaitu berada pada daerah Kabupaten Magetan, Kabupaten Pacitan, Kabupaten Banyuwangi dan sekitarnya. Memiliki rentang nilai dari $0,001 \text{ m/s}^2$ hingga $0,029 \text{ m/s}^2$, dominasi pesebaran nilai PGA menengah cenderung dengan rentang nilai $0,07 \text{ m/s}^2$ hingga $0,56 \text{ m/s}^2$.



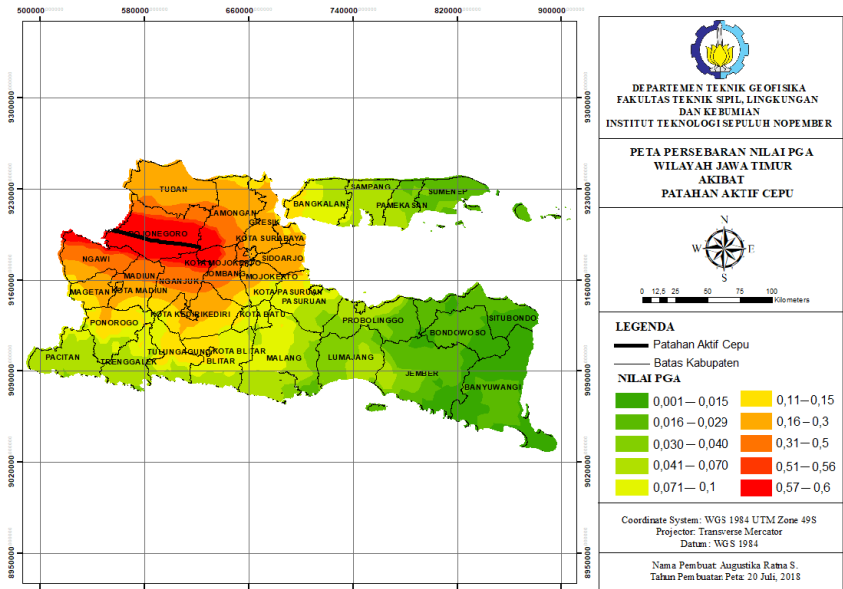
Gambar 4. 10 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Waru ($R = 64\text{m}$; $M = 6,5\text{M}$)

Gambar di atas merupakan peta persebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Waru. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 64 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse* fault dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Sidaorjo dan Kota Surabaya. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong rendah yaitu 180 m/s hingga 265,01 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,009581 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $1,220905 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Terlihat pada peta efek yang ditimbulkan di daerah sekitar sumber gempa patahan Waru relatif lebih besar dan luas cakupan areanya dibandingkan dengan efek yang ditimbulkan patahan-patahan tersebut sebelumnya. Faktor yang memengaruhi hal ini bisa dianalisis dari amplifikasi yang terjadi. Pada sumber patahan susunan geologinya didominasi oleh sedimen tebal. Sehingga efek amplifikasi cenderung lebih besa dan meluas. Untuk daerah paling aman yang memiliki nilai PGA rendah yaitu di Kabupaten Banyuwangi dan sekitarnya. Memiliki rentang nilai dari $0,001 \text{ m/s}^2$ hingga $0,029 \text{ m/s}^2$, dominasi persebaran nilai PGA menengah cenderung tinggindengan rentang nilai $0,07 \text{ m/s}^2$ hingga $0,56 \text{ m/s}^2$.



Gambar 4. 11 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Blumbang ($R = 31$ km; $M = 6,6M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Blumbang. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 31 km dengan potensi magnitudo 6,6 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Gresik dan Kabupaten Lamongan. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong menengah yaitu 265,41 m/s hingga 380,42 m/s. Karena di daerah tersebut selain terdapat sedimen tebal, juga terdapat barisan stuktur karst yang masih aktif ditambang hingga saat ini. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara 0,007566 m/s^2 untuk nilai terendah hingga 1,289493 m/s^2 untuk nilai tertinggi. Nilai tersebut relatif lebih kecil dibandingkan dengan nilai PGA yang dihasilkan oleh patahan Waru. Faktor yang memengaruhi hal ini bisa dianalisis dari amplifikasi yang terjadi. Pada sumber patahan susunan geologi berdasarkan nilai Vs30 cenderung lebih tinggi dari patahan Waru. Maka dari itu amplifikasinya juga bisa relatif lebih kecil. Untuk daerah paling aman yang memiliki nilai PGA rendah yaitu di Kabupaten Banyuwangi dan sekitarnya. Memiliki rentang nilai dari 0,001 m/s^2 hingga 0,029 m/s^2 , dominasi pesebaran nilai PGA menengah cenderung tinggi dengan rentang nilai rentang nilai 0,07 m/s^2 hingga 0,56 m/s^2

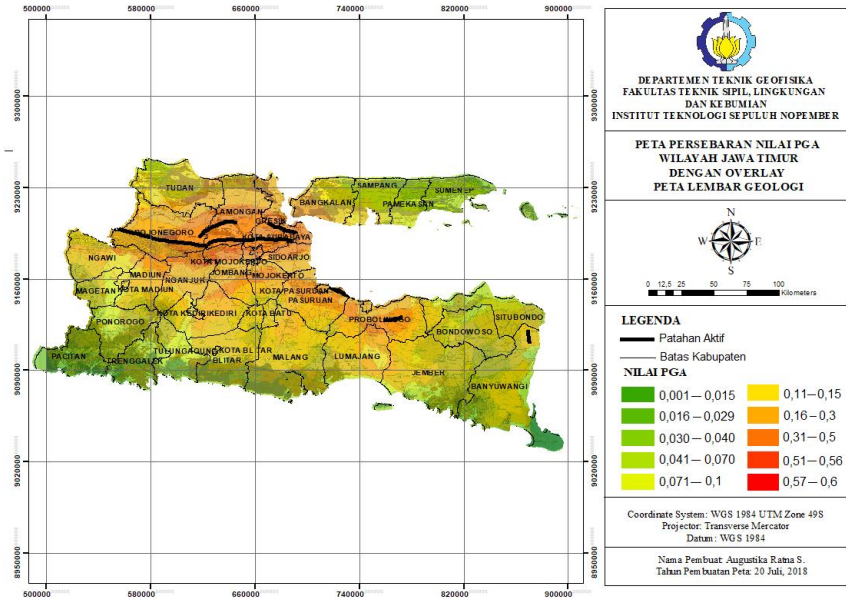


Gambar 4. 12 Peta persebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Cepu ($R = 100$ km; $M = 6,6M$)

Gambar di atas merupakan peta persebaran nilai PGA di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Cepu. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 100 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Bojonegoro. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong menengah cenderung tinggi yaitu 265,41 m/s hingga 566 m/s. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara 0,006483 m/s^2 untuk nilai terendah hingga 1,336292 m/s^2 untuk nilai tertinggi. Nilai tersebut sedikit berbeda dibandingkan dengan nilai PGA yang dihasilkan oleh patahan Blumbang. Pada nilai terendah patahan cepu nilainya lebih rendah daripada patahan Blumbang namun untuk nilai tertingginya memiliki nilai yang lebih tinggi. Untuk daerah paling aman yang memiliki nilai PGA rendah yaitu di Kabupaten Banyuwangi dan sekitarnya. Memiliki rentang nilai dari 0,001 m/s^2 hingga 0,029 m/s^2 , dominasi persebaran nilai PGA menengah cenderung tinggi dengan rentang nilai rentang nilai 0,07 m/s^2 hingga 0,56 m/s^2 .

4.2.3 Pesebaran nilai PGA hasil *Logic Tree* potensi magnitudo

Pembobotan *Logic Tree* berikut ini didasarkan pada potensi magnitudo terbesar pada sumber gempa patahan. Kemudian akan dihasilkan satu peta gabungan dari potensi magnitudo.



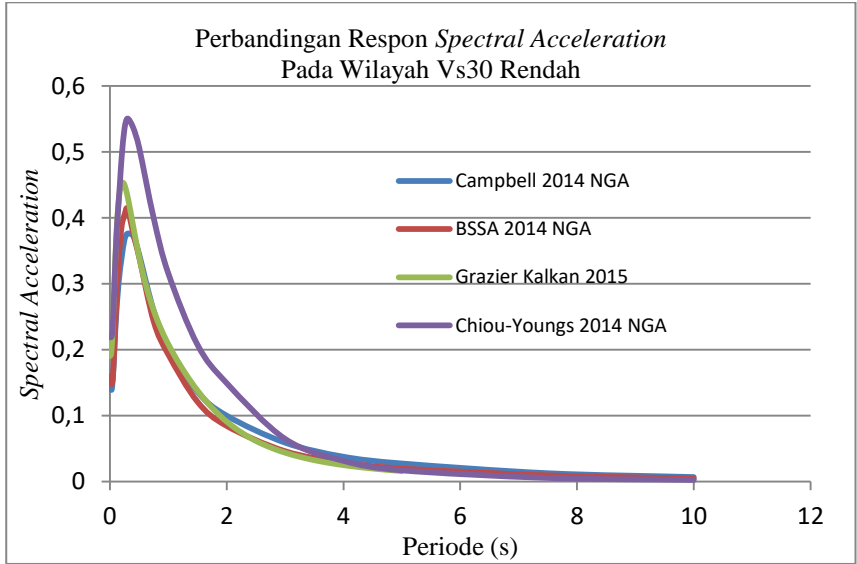
Gambar 4. 13 Peta pesebaran nilai PGA Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* potensi magnitudo sumber gempa.

Gambar di atas memperlihatkan adanya akumulasi nilai PGA tinggi terjadi pada utara Jawa Timur. Jika ditinjau dari rentang nilai V_{s30} , rentangnya tergolong rendah hingga menengah yaitu berkisar 180 m/s hingga 518,43 m/s. Namun di dominasi oleh nilai rendah dengan rentang 180 m/s hingga 295,010 m/s. Nilai ini dapat di validasi dengan kondisi sebenarnya pada daerah tersebut yakni tersusun oleh dominasi sedimen berupa aluvium. Antara lain dari lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, bongkahan maupun tanah urukan. Namun juga terdapat barisan struktur karst di pantai utara Jawa Timur seperti di Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Gresik. Selain itu, 4 dari 7 patahan berada pada daerah tersebut, 2 lainnya berada di kisaran Kabupaten Pasuruan dan Probolinggo serta satu lainnya di ujung timur Jawa Timur. Maka dari itu energi terakumulasi pada daerah tersebut. Rentang nilai PGA yang dihasilkan berkisar antara $0,014243 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $0,5773 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Nilai tertinggi yang dihasilkan jauh berbeda dengan nilai

tertinggi yang dihasilkan masing-masing patahan. Faktor yang mungkin memengaruhi adalah besarnya pembobotan yang diberikan pada masing-masing sumber patahan. Sebagai upaya validasi maka digunakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia yang telah dipublikasi oleh pusat studi gempa nasional. Secara umum bentuk persebaran nilai PGA relatif sama. Terdapat perbedaan dalam ketelitian persebaran akibat skala peta pusgen yang terlalu luas. Rentang nilai PGA dari peta pusgen untuk wilayah Jawa Timur berkisar antara kurang dari 0,05 g hingga 0,7 g. Nilai ini relatif tidak jauh berbeda dengan hasil akhir pembobotan PGA pada penelitian.

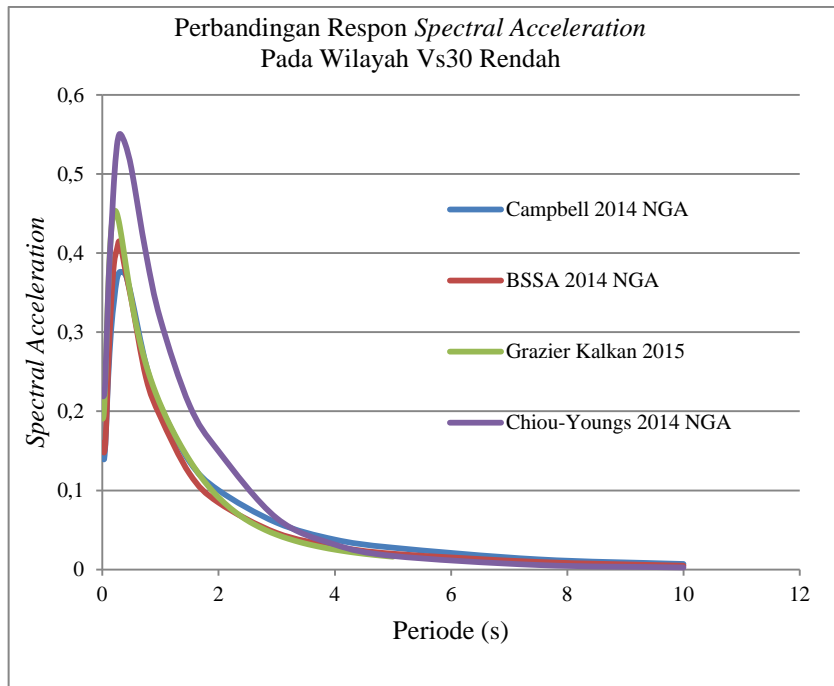
4.3 Respon *Spectral Acceleration*

Berikut adalah respon spektra akselerasi dari masing-masing fungsi atenuasi dalam bentuk grafik hubungan periode dengan percepatan spectra. Masing-masing grafik tersebut kemudian digabungkan agar terlihat perbandingan responnya. Respon di bawah ini diambil dari satu studi kasus sumber gempa yaitu pada patahan Cepu. Kemudian di ambil sampel pada dua titik pengamatan yang berbeda. Satu berada pada daerah yang memiliki nilai Vs30 tinggi yaitu 846,598 m/s. Satu lainnya di ambil pada daerah dengan Vs30 rendah dengan nilai 201,47 m/s. Titik pengamatan tersebut juga mempertimbangkan jarak terhadap sumber patahan yang juga tidak jauh berbeda. Berikut adalah grafik responnya:



Gambar 4. 14 Perbandingan respon *spectral acceleration* pada wilayah Vs30 tinggi

Periode antara respon pada daerah dengan nilai Vs30 tinggi dan rendah adalah sama. Perbedaan terdapat pada rentang nilai percepatan spektranya. Daerah dengan nilai Vs30 tinggi memiliki nilai percepatan yang jauh lebih rendah. Dengan rentang nilai $0,02 \text{ m/s}^2$ hingga puncaknya tidak sampai $0,14 \text{ m/s}^2$. Fungsi yang menyentuh peak tertinggi adalah fungsi atenuasi Grazier kalkan 2015 NGA dengan rentang nilai spektra $0,00297 \text{ m/s}^2$ hingga $0,13135 \text{ m/s}^2$. Kedua adalah fungsi Chiou-youngs 2014 NGA dengan rentang nilai antara $0,00042497 \text{ m/s}^2$ hingga $0,13018 \text{ m/s}^2$. Namun Kalkan memiliki periode yang paling pendek diantara lainnya sebesar 5s. Sedangkan ketiga fungsi lainnya memiliki periode sama dan lebih panjang yaitu 10s. Nilai peak tertinggi ketiga adalah fungsi Campbell 2014 NGA dengan rentang nilai $0,0012415 \text{ m/s}^2$ hingga $0,100272 \text{ m/s}^2$. Yang terakhir adalah fungsi Boore-Atkinson 2014 NGA dengan rentang nilai $0,009464 \text{ m/s}^2$ hingga $0,098727 \text{ m/s}^2$.



Gambar 4. 15 Perbandingan respon *spectral acceleration* pada wilayah Vs30 Rendah

Daerah dengan nilai Vs30 rendah memiliki nilai percepatan yang jauh lebih tinggi. Dengan rentang nilai $0,1 \text{ m/s}^2$ hingga puncaknya tidak sampai $0,6 \text{ m/s}^2$. Fungsi yang menyentuh peak tertinggi adalah fungsi atenuasi Chiou-

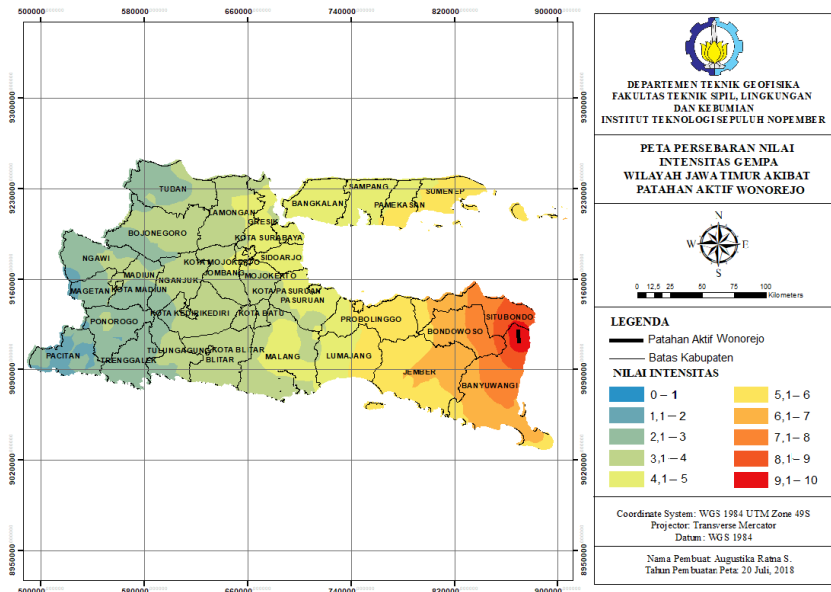
young's 2014 NGA dengan rentang nilai spektra $0,0025423 \text{ m/s}^2$ hingga $0,5507 \text{ m/s}^2$. Kedua adalah fungsi Grazier Kalkan 2015 NGA dengan rentang nilai antara $0,01613 \text{ m/s}^2$ hingga $0,45362 \text{ m/s}^2$. Namun Kalkan memiliki periode yang paling pendek diantara lainnya sebesar 5s. Sedangkan ketiga fungsi lainnya memiliki periode sama dan lebih panjang yaitu 10s. Nilai peak tertinggi ketiga adalah fungsi Boore-Atkinson 2014 NGA dengan rentang nilai $0,004776 \text{ m/s}^2$ hingga $0,41379 \text{ m/s}^2$. Yang terakhir adalah fungsi Campbell 2014 NGA dengan rentang nilai $0,006962 \text{ m/s}^2$ hingga $0,37617 \text{ m/s}^2$.

Dari analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa puncak percepatan spektra dari yang paling tinggi hingga rendah pada daerah Vs30 tinggi adalah fungsi Grazier Kalkan 2015 NGA, Chiou-Youngs 2014 NGA, Campbell 2014 NGA kemudian Boore-Atkinson 2014 NGA. Sedangkan puncak percepatan spektra dari yang paling tinggi hingga rendah pada daerah Vs30 rendah adalah fungsi Chiou-Youngs 2014 NGA, Grazier Kalkan 2015 NGA, Boore-Atkinson 2014 NGA kemudian Campbell 2014 NGA.

4.4 Intensitas Gempa

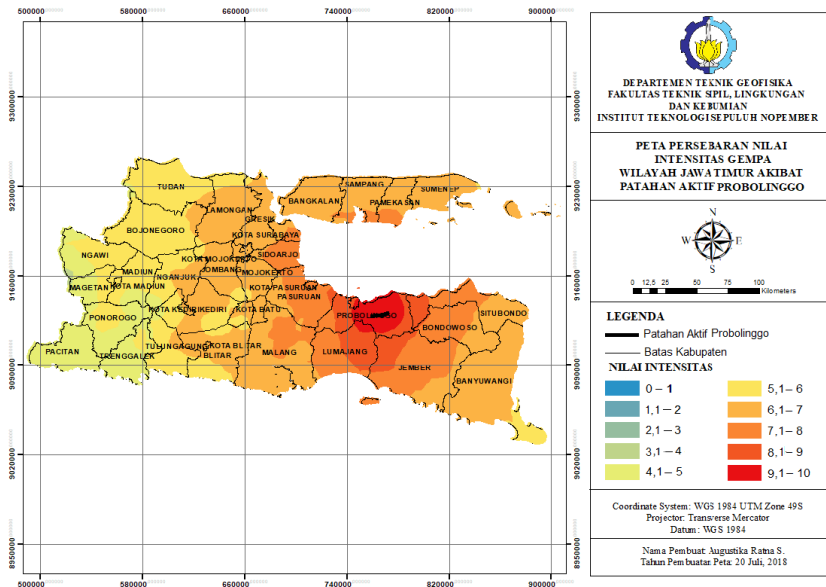
4.4.1 Intensitas Gempa hasil *Logic Tree* sumber gempa

Di bagian sebelumnya, kita mengenal parameter intensitas, yang digambarkan dengan skala Intensitas Mercalli. Intensitas ini biasanya dilaporkan berdasarkan pengamatan manusia atas getaran yang dirasakan. Berbeda dengan Peak Ground Acceleration, biasanya diukur dengan suatu instrumen yang dikenal dengan nama accelerographs. Maka dari itu, satuan intensitas ini untuk cenderung lebih mempertimbangkan kondisi fisik yang dialami manusia saat terjadi gempa. Sama halnya dengan pembobotan logic tree yang dilakukan pada nilai PGA, intensitas juga dilakukan dua kali pembobotan yaitu berdasarkan sumber gempanya dan juga dari potensi magnitudonya. Berikut adalah peta persebaran nilai intensitas gempa wilayah Jawa Timur.



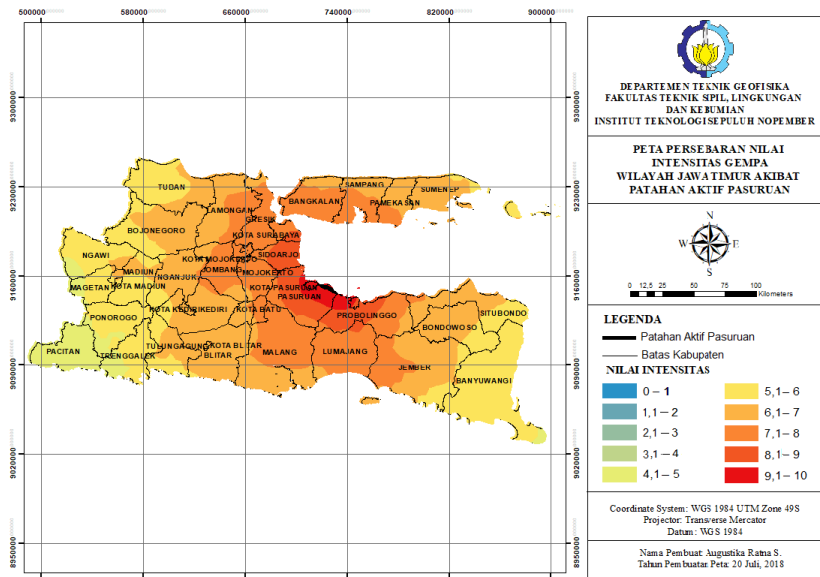
Gambar 4.16 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Wonorejo ($R = 10$ km; $M = 5,7$ M)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai Intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Wonorejo. Panjang patahan tersebut adalah 10 km dengan potensi magnitudo 5,7M. Lokasi patahan terletak di ujung timur pulau jawa pada daerah pesisir pantai. Namun untuk latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong tinggi yaitu 300 m/s hingga 700 m/s. Rentang nilai Intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 1,48 untuk nilai terendah hingga 9,86 untuk nilai tertinggi. Dengan potensi magnitudo dan besar patahan, energi yang dapat ditimbulkan tidak cukup besar dibandingkan dengan patahan yang lain. Bisa terlihat dari rentang nilai intensitas dan cakupan wilayah yang terimbas. Sebagian besar memiliki nilai intensitas mengeah cenderung rendah dengan rentang nilai 1 hingga 4 skala MMI. Namun pada wilayah Kabupaten Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo terlihat adanya amplifikasi ditandai dengan nilai PGA yang lebih rendah dibandingkan daerah sekitarnya. Hal tersebut dapat di validasi dengan kondisi geologi daerah tersebut yang di dominasi oleh batuan sedimen yaitu aluvium, tanah urukan serta daerah yang terletak di pesisir pantai.



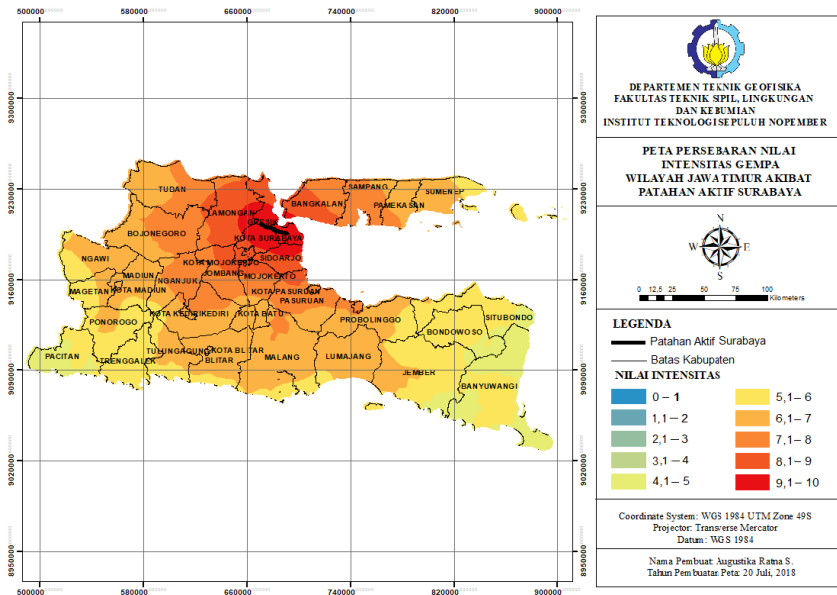
Gambar 4. 17 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Probolinggo ($R = 15$ km; $M = 6,5M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Probolinggo. Panjang patahan tersebut sepanjang 15 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah strike slip dengan dip 60N. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Probolinggo. Namun untuk latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong menengah cenderung tinggi yaitu 265,4 m/s hingga 551 m/s. Rentang nilai intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 3,74 untuk nilai terendah hingga 10,15 untuk nilai tertinggi. Magnitudo 6.5M dapat menimbulkan energi yang cukup besar sehingga pada peta terlihat dominasi skala intensitas gempa yang tinggi berkisar antara 4 hingga 10 skala MMI.



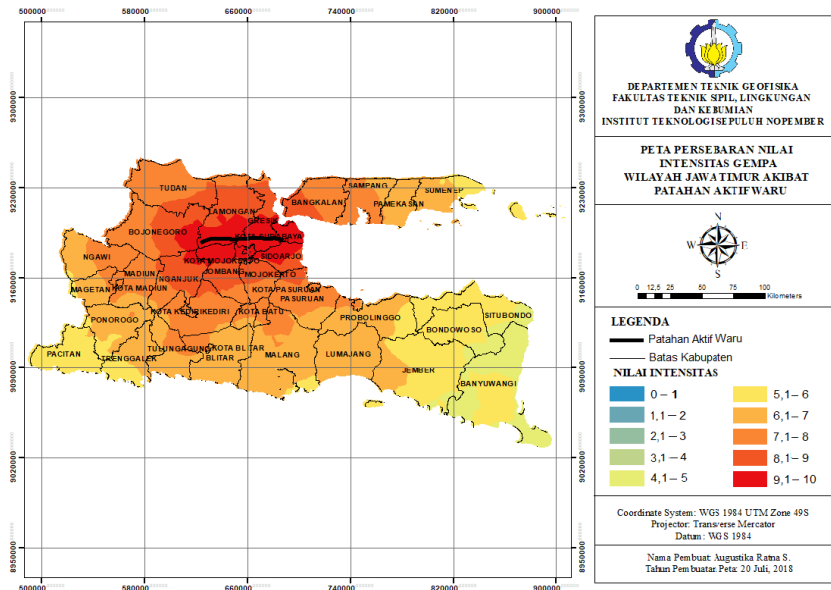
Gambar 4. 18 Peta pesebaran nilai intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Pasuruan ($R = 18 \text{ km}$; $M = 6,5M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Pasuruan. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 18 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah normal fault dengan dip 60S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Pasuruan. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong menengah cenderung rendah yaitu 265,4 m/s hingga 441 m/s. Rentang nilai intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 4,16 untuk nilai terendah hingga 10,05 skala MMI untuk nilai tertinggi. Pada peta terlihat efek yang ditimbulkan lebih besar dari pada patahan probolinggo meskipun memiliki potensi magnitudo yang sama dan panjang patahan yang tidak jauh berbeda. Namun menurut analisis segi geologinya, faktor amplifikasi pada daerah patahan dan sekitarnya yang merupakan daerah sedimen dengan nilai V_{s30} cenderung rendahlah yang menyebabkan dominasi pesebaran nilai intensitas gempa menengah cenderung tinggi.



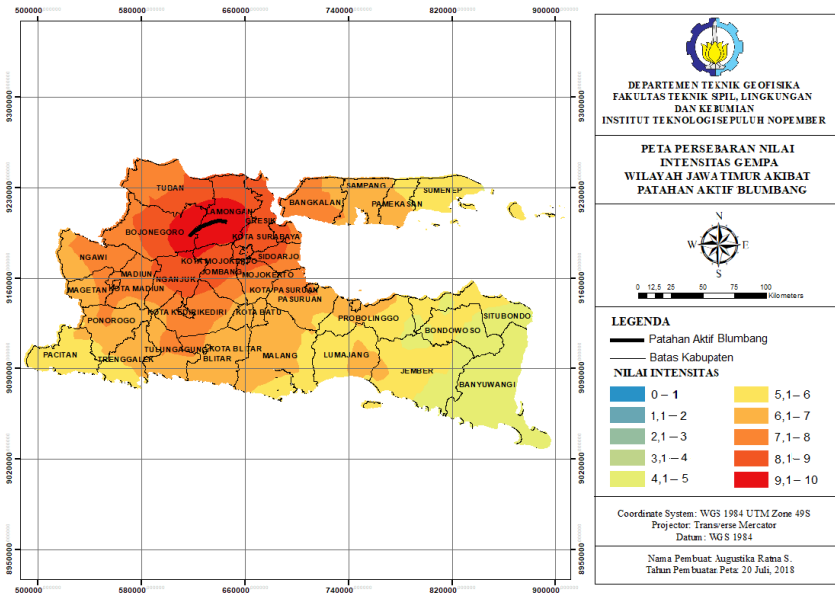
Gambar 4. 19 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Surabaya ($R = 25$ km; $M = 6,5M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Surabaya. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 25 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kota Surabaya. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong rendah yaitu 180 m/s hingga 265,01 m/s. Rentang nilai intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 4 skala MMI untuk nilai terendah hingga 10,04 skala MMI untuk nilai tertinggi. Nilai tersebut tidak jauh beda dengan sala intensitas gempa yang dihasilkan oleh patahan pasuruan.



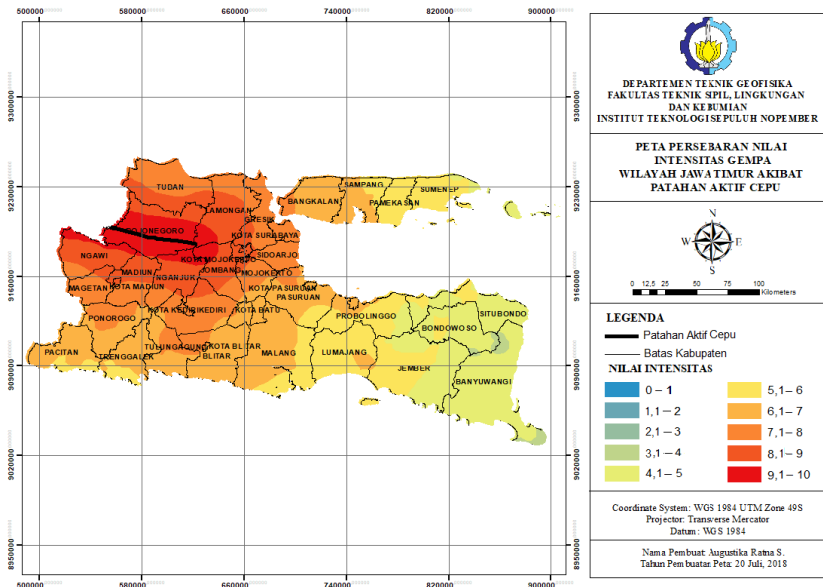
Gambar 4. 20 Peta persebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Waru ($R = 64\text{m}$; $M = 6,5\text{M}$)

Gambar di atas merupakan peta persebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Waru. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 64 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur pada daerah pesisir pantai tepatnya di Kabupaten Sidoarjo dan Kota Surabaya. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong rendah yaitu 180 m/s hingga 265,01 m/s. Rentang nilai intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 4,02 skala MMI untuk nilai terendah hingga 10,13 skala MMI untuk nilai tertinggi. Terlihat pada peta efek yang ditimbulkan di daerah sekitar sumber gempa patahan relatif lebih besar dan luas cakupan areanya dibandingkan dengan efek yang ditimbulkan patahan-patahan tersebut sebelumnya. Faktor yang memengaruhi hal ini bisa dianalisis dari amplifikasi yang terjadi. Pada sumber patahan susunan geologinya didominasi oleh sedimen tebal. Sehingga efek amplifikasi cenderung lebih besar dan meluas. Untuk daerah paling aman yang memiliki skala intensitas gempa paling rendah yaitu di Kabupaten Banyuwangi dan sekitarnya. Memiliki rentang nilai dari 4 hingga 5 skala MMI, dominasi persebaran nilai intensitas gempa tergolong menengah-tinggi dengan rentang nilai 5 hingga 10 skala MMI.



Gambar 4. 21 Peta pesebaran nilaiIntensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber gempa patahan Blumbang ($R = 31$ km; $M = 6,6M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Blumbang. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 31 km dengan potensi magnitudo 6,6 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45°. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Gresik dan Kabupaten Lamongan. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai V_{s30} tergolong menengah yaitu 265,41 m/s hingga 380,42 m/s. Karena di daerah tersebut selain terdapat sedimen tebal, juga terdapat barisan stuktur karst yang masih aktif ditambang hingga saat ini. Rentang nilai intensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 3,73 skala MMI untuk nilai terendah hingga 10,11 skala MMI untuk nilai tertinggi.

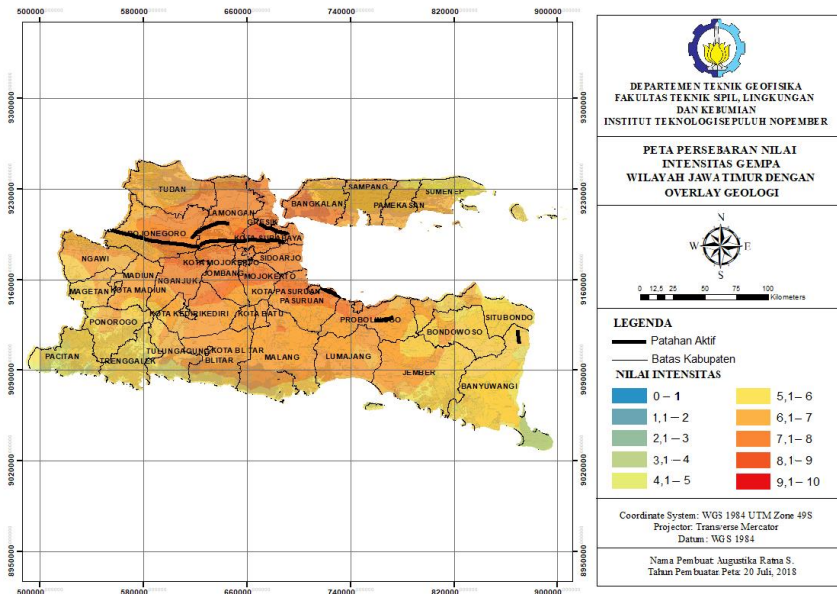


Gambar 4. 22 Peta pesebaran nilai Intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* dengan sumber patahan Cepu ($R = 100 \text{ km}$; $M = 6,6M$)

Gambar di atas merupakan peta pesebaran nilai intensitas gempa di wilayah Jawa Timur dengan sumber patahan Cepu. Patahan tersebut memiliki panjang sebesar 100 km dengan potensi magnitudo 6,5 M. Tipe patahannya adalah *reverse fault* dengan dip 45S. Lokasi patahan terletak di bagian utara pulau Jawa Timur tepatnya di Kabupaten Bojonegoro. Latar belakang geologi pada daerah sumber patahan ditinjau dari nilai Vs30 tergolong menengah cenderung tinggi yaitu 265,41 m/s hingga 566 m/s. Rentang nilai insensitas gempa yang dihasilkan berkisar antara 3,54 skala MMI untuk nilai terendah hingga 10,16 skala MMI untuk nilai tertinggi. Sedangkan nilai di dominasi dengan intensitas sebesar 4 skala MMI hingga 10 skala MMI.

4.4.2 Intensitas Gempa hasil *Logic Tree* potensi magnitudo

Berikut adalah peta pesebaran nilai intensitas gempa berdasarkan hasil *logic tree* potensi magnitudo sumber gempa.



Gambar 4. 23 Peta persebaran nilai intensitas gempa Jawa Timur hasil pembobotan *logic tree* potensi magnitudo sumber gempa.

Rentang nilai intensitas gempa berkisar antara 4,3063 skala MMI untuk nilai terendah hingga 8,1232 skala MMI untuk nilai tertinggi. Puncak intensitas gempa yang dihasilkan jauh lebih rendah dari hasil *logic tree* berdasarkan mekanisme sumber gempa patahan. Dominasi skala intensitas gempa yang dirasakan oleh masyarakat berkisar antara 6 skala MMI hingga 9 skala MMI. Nilai tersebut tergolong tinggi. Skala tersebut dapat dijelaskan sebagaimana gempa dirasakan oleh semua orang, banyak yang ketakutan dan berlarian keluar. Beberapa furnitur berat bergeser. Plester-plester dinding berjatuh dan ceor bong asap mengalami kerusakan ringan. Skala 7 MMI akan mengakibatkan semua orang berlarian keluar. Kerusakan ringan pada bangunan dengan struktur standar, namun sangat besar pada bangunan dengan struktur jelek. Gempa dirasakan juga oleh orang yang naik kendaraan. Skala 8 MMI terjadi kerusakan ringan pada bangunan yang berstruktur khusus, kerusakan sedang pada struktur standar dan runtuh pada struktu jelek. Cerobong asap pabrik dan monumen roboh. Furnitur berat terlempar. Pasir dan lumpur tersembur keluar, menyebabkan air keruh. Sedangkan skala 9 MMI kerusakan besar terjadi pada bangunan yang kokoh. Rangka-rangka bangunan biasa terlepas dari pondasinya, kerusakan besar pada bangunan kuat dengan sebagian banunan roboh. Pondasi bangunan bergeser. Tanah retak-retak dan pipa bawah tanah pecah. Untuk skala 8 – 9 MMI dirasakan khususnya di wilayah Kota Suarabaya

yang memiliki kepadatan penduduk tinggi, kerapatan bangunan pencakar lain serta pusat pemerintahan provinsi. Maka sangat perlu diperhatikan bangunan tahan gempa dan edukasi penanganan saat bencana gempa bumi melanda.

BAB V SARAN DAN KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian Analisis Bahaya Kegempaan di Jawa Timur dengan penggunaan pendekatan deterministik dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) untuk Wilayah Jawa Timur berkisar antara $0,014243 \text{ m/s}^2$ untuk nilai terendah hingga $0,5773 \text{ m/s}^2$ untuk nilai tertinggi. Daerah dengan nilai PGA tertinggi meliputi Kabupaten Sidoarjo, Kota Surabaya, Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Gresik. Dimana pada daerah tersebut memiliki rentang Vs30 rendah berkisar antara 180 m/s hingga 332,62 m/s. Kondisi geologi didominasi oleh sedimen alluvium meliputi kerakal, kerikil, batupasir, batulempung, lanau dan konglomerat. Sedangkan Daerah dengan nilai PGA terendah Kabupaten Pacitan, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Sumenep, Madura. Dimana pada daerah tersebut memiliki rentang Vs30 tinggi berkisar antara 518,43 m/s hingga 900 m/s. Kondisi geologi didominasi oleh batuan gunung api miosen yaitu basal, andesit, perselingan breksi, sisipan batupasir, batulempung serta batugamping.
2. Nilai Intensitas Gempa untuk Wilayah Jawa Timur berkisar antara 4,3063 skala MMI untuk nilai terendah hingga 8,1232 skala MMI untuk nilai tertinggi. Daerah dengan nilai intensitas gempa tertinggi meliputi Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Jombang, Kabupaten Mojokerto, Kota Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Pasuruan dan Kabupaten Probolinggo. Sedangkan daerah dengan nilai intensitas gempa terendah meliputi Kabupaten Pacitan dan Kabupaten Banyuwangi tepatnya daerah Alas Purwo.
3. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai PGA dan Intensitas gempa tinggi berada pada daerah dengan Vs30 rendah. Wilayah ini merupakan zona rawan gempa bumi dikarenakan kondisi geologi yang memicu terjadinya amplifikasi gelombang gempa.

5.2 Saran

1. Melakukan analisis terhadap patahan yang mengakibatkan nilai *Peak Ground Acceleration* paling besar
2. Melakukan pengukuran Vs30 di lapangan pada daerah penelitian agar nilai yang diperoleh sesuai dengan perkembangan kondisi lapangan sebenarnya
3. Melakukan studi lanjutan *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* untuk menyempurnakan penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Abercrombie, R.E., Antolik, M., Felzer, K. dan Ekström, G. (2001), "The 1994 Java tsunami earthquake: Slip over a subducting seamount", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol.106, No.B4, hal. 6595–6607. <http://doi.org/10.1029/2000JB900403>.
- Ammon, C.J., Kanamori, H., Lay, T. dan Velasco, A.A. (2006), "The 17 July 2006 Java tsunami earthquake", *Geophysical Research Letters*, Vol.33, No.24, hal. 1–5. <http://doi.org/10.1029/2006GL028005>.
- Putri, A., Purwanto, S., Widodo, A., 2017. Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor Jalur Sesar Kendeng. Jurnal Geosaintek 03/02. Surabaya
- Bambang Sunardi, S.S.M.C. and G.A. (2016), *Deagregasi bahaya gempabumi untuk daerah istimewa yogyakarta*, No.November 2015.
- Bemmelen, van, R.W., 1949, The Geology of Indonesia, Martinus Nyhoff, The Hague, Nederland.
- Bermana, I. (2006), "Klasifikasi Geomorfologi Untuk Pemetaan Geologi yang Telah Dibakukan", *Bulletin of Scientific Contribution*, Vol.4, hal. 161–173.
- BLH Provinsi Jawa Timur. 2018. Struktur Geologi. [Online]. Available: <https://pusdaling.jatimprov.go.id/2-info-home/4-geologi-jatim.html>
- Boore, D.M., Stewart, J.P., Atkinson, G.M. dan Eeri, M. (2014), "NGA-West 2 Equations for Predicting PGA , PGV , and 5 % -Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes", *Earthquake Spectra*, No.c, hal. 1–38. <http://doi.org/10.1193/070113EQS184M>.
- BPS Jawa Timur. (2016, Juli 22). Jumlah Penduduk dan Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Kabupaten/Kota di provinsi Jawa Timur, 2010, 2014 dan 2015. [Online]. Available: <https://jatim.bps.go.id/statisticable/2016/04/29/330/jumlah-penduduk-dan-laju-pertumbuhan-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-timur-2010-2014-dan-2015>
- Campbell, K.W. dan Bozorgnia, Y. (2014), "NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra", *Earthquake Spectra*, Vol.30, No.3, hal. 1087–1115. <http://doi.org/10.1193/062913EQS175M>.
- Chiou, B.S.-J. dan Youngs, R.R. (2014), "Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra", *Earthquake Spectra*, Vol.30, No.3, hal. 1117–1153. <http://doi.org/10.1193/072813EQS219M>.
- Cipta, A. (2018), *Pendugaan VS30 Berdasarkan Klasifikasi Geomorfologi*, No.February.
- Graizer, V. dan Kalkan, E. (2016), *Summary of the GK15 Ground-Motion*

- Prediction Equation for Horizontal PGA and 5 % Damped PSA from Shallow Crustal Continental Earthquakes*, Vol.106, No.2, hal. 687–707.
<http://doi.org/10.1785/0120150194>.
- Hadi, A.I., Lestari, K., Refrizon dan Oktari, T. (2013), *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu*, hal. 323–328.
- Harnindra, V.A., Sunardi, B., Santosa, J., Fisika, D., Matematika, F., Alam, P., Sepuluh, I.T., Its, N., Angkasa, J., Selatan, S. dan Pusat, K.J. (2017), *Implikasi Sesar Kendeng Terhadap Bahaya Gempa dan Pemodelan Percepatan Tanah di Wilayah Surabaya*, Vol.6, No.2.
- Hidayat, S. (2014), *ANALISIS ZONA BAHAYA GEMPABUMI DENGAN PENDEKATAN PROBABILITAS PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DAN GEOMORFOLOGI KABUPATEN BANTUL DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA*
- Irsyam M., Asrurifak M., Budiono B., Triyoso W., and Anita Firmanti A., (2010), *Indonesia Spectral Hazard Map at Ground Surface for Earthquake Resistance Building Design*, The 5th Kyoto University Southeast Asia Forum, Conference of Earth and Space Science, Bandung 7-8 January 2010.
- Koulali, A., Susilo, S., McClusky, S., Meilano, I., Cummins, P., Tregoning, P., Lister, G., Efendi, J. dan Syafi’I, M.A. (2016), "Crustal strain partitioning and the associated earthquake hazard in the eastern Sunda-Banda Arc", *Geophysical Research Letters*, Vol.43, No.5, hal. 1943–1949.
<http://doi.org/10.1002/2016GL067941>.
- Kramer, S.L. (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, hal. 1–23.
- Kumala, S.A. (2016), *ANALISIS NILAI PGA (PEAK GROUND ACCELERATION) UNTUK SELURUH WILAYAH KABUPATEN DAN KOTA DI JAWA TIMUR*, hal. 37–43.
- Kulkarni, R.B., Youngs, R.R., Coppersmith, K.J., 1984. Assessment of Confidence Intervals for Result of Seismic Hazard Analysis, in: *Proceedings of the Eight World Conference on Earthquake Engineering*. San Francisco, pp. 263–270.
- Marliyani, G.I., Arrowsmith, R. and Helmi, H., 2015, December. Evidence of Multiple Ground-rupturing Earthquakes in the Past 4000 Years along the Pasuruan Fault, East Java, Indonesia. In *AGU Fall Meeting Abstracts*
- Marliyani, G., Arrowsmith, J. dan Whipple, K.. (2016), "Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia", *Journal of Geophysical Research*, No.Earth Surface.
- Marliyani G.I., A.J.R. dan Whipple K.X (2016), "Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia", *Journal of Geophysical Research*, No.Earth Surface.
- Matsuoka, M., Wakamatsu, K., Fujitomo, K. dan Midorikawa, S. (2006),

- "Average Shear-Wave Velocity Mapping Using Japan Engineering Geomorphologic Classification Map", *Structural Engineering / Earthquake Engineering*, Vol.23, No.1, hal. 57s–68s. <http://doi.org/10.2208/jscesee.23.57s>.
- Natawidjaja, D. H. And M. R. Daryono, 2016, Present-day tectonics and earthquake history of Java, Indonesia, in *Proceedings GEOSEA XIV Congress and 45th IAGI Annual Convention 2016*.
- Natawidjaja, D.H. dan Triyoso, W. (2007), "the Sumatran Fault Zone — From Source To Hazard", *Journal of Earthquake and Tsunami*, Vol.01, No.01, hal. 21–47. <http://doi.org/10.1142/S1793431107000031>.
- Nugraha, A.D., Supendi, P., Shiddiqi H.A., Widiyantoro, S., Puspito, N.T., Wandono., Wiyono, S., 2016, Small Earthquakes line "Swarm" around Madiun, East Java and Halmahera, Molluca Regions, Indonesia, in *preparation to be submitted to Earth, Planet, and Space*.
- Nugraha, A.D., Supendi, P., Widiyantoro, S., 2016, Earthquake hypocenter determination and focal mechanism to identify active fault around madiun-East Java, in *preparation to be submitted to Geological Society, London*.
- O. Simandjuntak, T. dan J. Barber, A. (1996), *Contrasting tectonic styles in the Neogene orogenic belts of Indonesia*. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.106.01.12>.
- Pambayun Purbandini (2017), *Analisis Bahaya Kegempaan Di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik*, No. Undergraduate Thesis, hal. 126.
- PUSGEN (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Tim Pusat Studi Gempa Nasional, Bandung.
- S. Gafoer dan N. Ratman, 19999, "Peta geologi lembar jawa bagian timurskala 1:500.000", Pusat penelitian dan pengembangan geologi.
- Smyth, H.R., Hall, R. dan Nichols, G.J. (2008), "Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin", *Geological Society of America Special Papers*, Vol.436, No.10, hal. 199–222. [http://doi.org/10.1130/2008.2436\(10\)](http://doi.org/10.1130/2008.2436(10)).
- Suharsono, G. S., dan Suwarti, T. (1992), *Geology of the Probolinggo Quadrangle, Jawa. scale 1:100,000*.
- Susilo A., A.Z. (2013), "Probabilistic Seismic Hazard Analysis of East Java Region, Indonesia.", *Int. J. Comput. Electr. Eng*, Vol.5.728, hal. 341–344.
- Susilanto, P., dan Ngadmanto, D., 2015, Analisis Kecepatan Gelombang Geser (VS) di Cilacap, Jawa Tengah sebagai Upaya Mitigasi Gempabumi, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika (JMG)* Vol 16 No 1 : 57-64.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA DIRI



Lahir di Kota Pasuruan pada Tanggal 17 Agustus 1996, dengan nama Augustika Ratna Salsabil. Pendidikan formal penulis dimulai di TK SiI Khadijah dilanjutkan ke SD Negeri Wonorejo 4 pada tahun 2002. Selanjutnya pendidikan diteruskan ke jenjang Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Wonorejo pada tahun 2008. Pada tahun 2014 penulis masuk ke SMA Negeri 1 Pasuruan pada tahun 2011. Tahun 2014 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika 2014 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS banyak pengalaman yang telah penulis dapatkan, baik softskill maupun hardskill. Tahun periode 2015 - 2017 penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS, sebagai Sekretaris BPH selama dua periode. Selain itu, sebagai staff dalam Keluarga Muslim Teknik Geofisika Al-Ardh periode 2016/2017. Selain aktif dalam organisasi, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan yaitu sebagai koordinator acara dalam Geosphere 2016, penulis juga menjadi pengajar pada Kelas Inspirasi Kebumian 2017 di Jombang. Penulis juga aktif dalam kegiatan pelatihan yaitu Pelatihan Pemimpin Bangsa 9 (PBB 9), sebuah pelatihan kepemimpinan tingkat nasional di Jogjakarta pada tahun 2015. Aktif dalam pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa hingga tingkat Menengah dalam lingkup kampus ITS. Penulis tertarik dalam bidang geofisika teknik dan lingkungan . Pengalaman lain yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS yaitu pernah melakukan Kerja Praktik (KP) di Badan Metereologi, Klimatologi dan Geofisika, Jakarta pusat pada bulan Agustus 2017. Telah melakukan publikasi paper dalam bidang bencana dan lingkungan dengan judul *probability tsunami hazard assessment* pada Joint Convention Malang bulan September, 2017. Serta pelatihan *Geospasial for Disaster Management* di akhir tahun 2017.